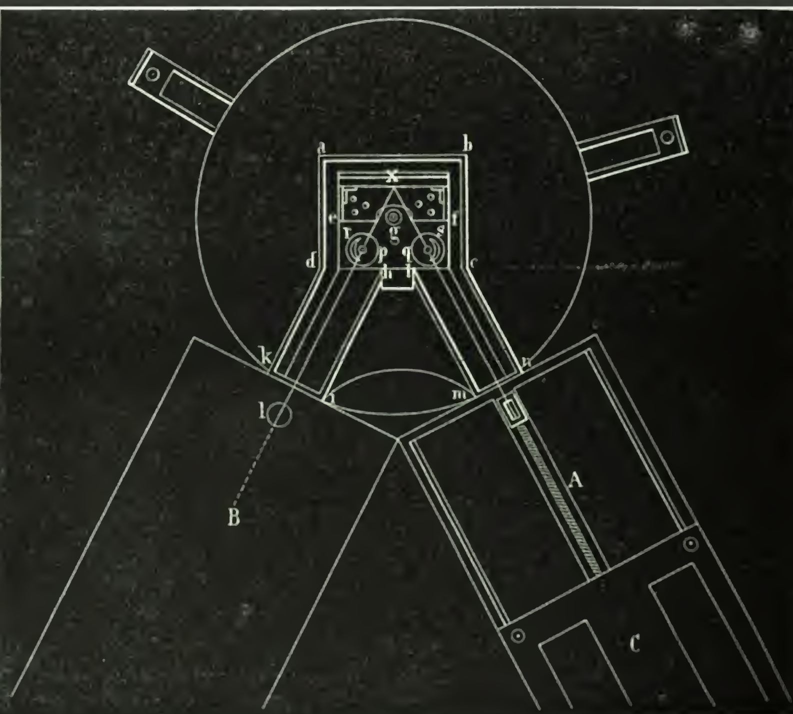


Physikalischen Lexikon

Gotthard Oswald Marbach, Carl Sébastian Cornelius



Physikalisches Lexikon.

Encyklopädie

der

Physik und ihrer Hülfswissenschaften: der Technologie, Chemie, Meteorologie, Geographie, Geologie, Astronomie, Physiologie ꝛc. nach dem Grade ihrer Verwandtschaft mit der Physik.

Zweite,

in Verbindung mit mehren Gelehrten unter Benutzung der neuesten Schriften des In- und Auslandes neu bearbeitete, mit Angabe der Literatur und der Quellen bereicherte, mit mehren Tausend in den Text gedruckten Abbildungen von Apparaten, Instrumenten und Maschinen ausgestattete und zahlreiche Tabellen enthaltende Auflage.

Begonnen von

Prof. Dr. Oswald Marbach.

Fortgesetzt von

Dr. C. S. Cornelius,

Docent an der Universität Halle.

Fünfter Band.

R — Sinne.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1858.



Nachhall, s. Echo.

Nacht, s. Tag und Nacht.

Nachtgleichen, Tag- und Nachtgleichen (lat. Aequinoctien), Zeit der Nachtgleichen heißen diejenigen zwei Tage des Jahres, an denen auf der ganzen Erde Tag und Nacht gleich lang sind. Der eine dieser Tage, die Frühlings-Nachtgleiche oder das Frühlingsäquinoctium, fällt um den 21. März, der andere, die Herbst-Nachtgleiche oder das Herbstäquinoctium, um den 23. September; auf der südlichen Halbkugel ist natürlich — da dort Frühling ist, wenn wir auf der nördlichen Halbkugel Herbst haben und umgekehrt — die Herbst-Nachtgleiche der nördlichen Halbkugel die Frühlings-Nachtgleiche, und eben so die Frühlings-Nachtgleiche der nördlichen Halbkugel die Herbst-Nachtgleiche. Die Tage der Nachtgleichen sind nicht unveränderlich, weil das Jahr etwas länger ist als 365 Tage; indessen weichen sie nicht sehr von den angegebenen Daten ab, da unsere Einschaltungen (s. Art. Jahr) so geregelt sind, daß eingetretene Abweichungen bald wieder ausgeglichen werden.

Astronomisch sind die Nachtgleichen keine Tage, sondern nur Augenblicke, nämlich die Zeiten, zu welchen der Mittelpunkt der Sonne sich genau in der Ebene des Aequators des Himmels befindet. Die beiden Durchschnittspunkte der Ekliptik mit dem Aequator des Himmels heißen daher die Nachtgleichenpunkte oder Aequinoctien, und zwar heißt der Punkt, in welchem der Aequator und die Ekliptik zu einer Zeit einander wirklich schneiden, das wahre Aequinoctium zu dieser Zeit, dagegen der von der Nutation (s. unten) befreite Durchschnittspunkt das mittlere Aequinoctium. Mit dem Uebertritte der Sonne von der südlichen Halbkugel des Himmels auf die nördliche beginnt der astronomische Frühling; mit dem Uebertritte derselben von der nördlichen Halbkugel auf die südliche der astronomische Herbst. An einem Tage der Nachtgleichen steht nicht allen unter dem Aequator in seiner ganzen Peripherie Wohnenden die Sonne im Zenith, sondern astronomisch genau ist dies nur an einer Stelle der Fall, und dies dauert eben nur einen Augenblick lang.

Von dem Frühlings-Nachtgleichenpunkte gehen die Astronomen aus in der Richtung von Westen nach Osten bei der Bestimmung der Rectascension und der Länge der Sterne (s. Art. Breite, astronomische Bd. I. S. 904); es ist aber dieser Punkt nicht unveränderlich in Beziehung zu den Fixsternen, sondern

derselbe rückt jährlich um 50,21 Secunden von Osten gegen Westen, so daß dies in 1000 Jahren ungefähr 14° (13,9) beträgt. Diese Veränderung des Frühlings-Nachtgleichenpunktes nennt man das Vorrücken oder die Präcession der Nachtgleichen. Wir bemerken hierbei, daß dies Vorrücken eigentlich ein Rückrücken ist, da die Astronomen die Bewegung eines Planeten rechtläufig nennen, wenn derselbe, von der Erde aus gesehen, seine Stellung zu den Fixsternen in der Richtung von Westen nach Osten verändert, während sie die entgegengesetzte Bewegung, also von Osten nach Westen hin, als rückläufig bezeichnen.

Schon Hipparch (130 v. Chr.) bemerkte, indem er seine Beobachtungen mit den von Timocharis und Aristill 160 Jahre früher angestellten verglich, daß sich die Länge der Fixsterne um etwa 2° verändert hatte, und Ptolemäus, der um 130 n. Chr. ebenfalls zu Alexandrien beobachtete, bestätigt dies jährliche Verrücken, es für 100 Jahre in runder Zahl auf ungefähr 1 Grad festsetzend *). Diese Veränderung des Nachtgleichenpunktes ist der Grund, daß der Frühlingspunkt gegenwärtig nicht mehr in demselben Zeichen sich befindet, in welchem er beim Einführen der astronomischen Ausdrücke lag, so daß die Zeichen und die Sternbilder des Thierkreises nicht mehr zusammentreffen. Der Frühlings-Nachtgleichenpunkt liegt jetzt nicht mehr im Widder, — ungeachtet man wohl noch vom Widderpunkte spricht —, sondern nahe 30 Grad westlich im Zeichen der Fische **). Etwa 300 v. Chr. lag der Frühlingspunkt in der Brust des Widders, etwa 2500 v. Chr. in den Hyaden des Stieres, um 4000 n. Chr. wird derselbe sich in der Mitte des Wassermanns, um 6150 im Kopfe des Steinbocks und um 8300 im Pfeile des Schützen befinden. Ueberhaupt wird der Frühlingspunkt alle Zeichen des Thierkreises durchlaufen haben in etwa 25812 Jahren, eine Periode, welche man das große oder platonische Jahr genannt hat.

Eine unbefangene Prüfung der Erscheinung ergiebt, daß diese Veränderung in der Lage des Frühlingspunktes nicht ihren Grund haben kann in einer Bewegung des ganzen Fixsternhimmels in der Richtung von Westen nach Osten, denn daß die Länge aller Fixsterne bei im Allgemeinen unverändert bleibender Breite sich jährlich ungleichviel verändern und der Grund in allen Fixsternen liegen sollte, wäre zu wunderbar. Wir haben vielmehr die Erscheinung daraus abzuleiten, daß der Aequator die Ekliptik unter einem bestimmten Winkel (der Schiefe der Ekliptik) im Allgemeinen unveränderlich schneidet, aber sich dabei so bewegt, daß die Durchschnittspunkte beider Kreise allmälig alle mögliche Stellungen in der Peripherie der Ekliptik einnehmen, oder — was dasselbe ist — daß der Aequator sich, mit sich selbst parallel, von Osten nach Westen bewegt, während die Ekliptik unverändert in ihrer Lage bleibt.

Aus der Präcession folgt unmittelbar, daß — wenn man sich noch die in die Pole auslaufenden, senkrecht auf den Ebenen des Aequators und der Ekliptik stehenden Axen denkt — der Pol des Aequators einen Kreis um den Pol der Ekliptik in der Zeit eines platonischen Jahres beschreiben muß, dessen Halbmesser durch die Schiefe der Ekliptik gegeben ist. Eine Folge hiervon ist, — da sich die Polhöhe der einzelnen Orte nicht ändert, wohl aber die Poldistanz aller Fixsterne, — daß mit der Zeit der sichtbare Theil des Fixsternhimmels für jeden

---

*) Almagest. lib. VII.

**) Vergl. Art. Ekliptik. Bd. II. S. 681 und Art. Thierkreis.

bestimmten Ort ein anderer wird. Für uns gehen jetzt Sterne auf und unter, von denen es vor Jahrtausenden nicht der Fall war, indem sie damals immer über dem Horizonte blieben; und eben so wird es wieder nach Jahrtausenden sein im Vergleich zur Jetztzeit. Jetzt trägt der Stern α im kleinen Bären die Benennung des Polarsternes, dessen Rectascension nahe 16° und dessen Abstand von dem Pole des Aequators, da die Deklination jetzt $88^1/_2$° beträgt, 1° 30′ ist. Dieser Abstand wird in den nächsten Jahrhunderten noch kleiner werden. Im Jahre 2100 wird sich dieser Stern dem Pole des Aequators bis auf 28 Minuten genähert haben. Nach dieser Zeit wird er sich wieder entfernen, und später werden andere Sterne einen größeren Anspruch auf die Benennung des Polarsternes haben. Zu Hipparch's Zeiten war unser Polarstern noch gegen 12 Grade von dem Pole des Aequators entfernt, um 3000 v. Chr. war α im Drachen der Polarstern und 4100 n. Chr. wird es γ des Cepheus und im Jahre 14000 α der Leier sein. Nach und nach kommen alle Sterne in den Pol des Aequators, welche auf der Peripherie eines Kreises liegen, dessen Mittelpunkt der Pol der Ekliptik und dessen Halbmesser gleich der Schiefe der Ekliptik (23° 28′) ist. Unsere Sternkataloge gelten deshalb nur für eine gewisse Zeit und eben so die Sternkarten und Himmelsglobus, wenn man in ihnen nicht die Stellung der Pole den Zeiten gemäß verändern kann. Es ist klar, daß man aus einer Sternkarte oder einem Himmelsgloben, angenommen, daß sie zur Zeit ihrer Anfertigung den Sternhimmel in richtigen Verhältnissen gegeben haben, nach beliebig langer Zeit auf die Zeit ihrer Anfertigung einen Schluß zurückmachen kann. Somit leuchtet ein, daß Angaben über die Stellung der Fixsterne mit Hülfe der Präcession zur Feststellung historischer Data dienen können. Man hat auch derartige Untersuchungen in bestimmten Fällen angestellt; jedoch müssen wir uns hier mit dieser Notiz begnügen *).

Die angegebene Kreisbewegung, welche der Pol des Aequators beschreibt, ist nach genaueren Beobachtungen gewissen Schwankungen unterworfen. Allerdings kehrt der Pol immer wieder in jenen Kreis zurück, aber bald ist derselbe dem Mittelpunkte — dem Pole der Ekliptik — näher, bald steht er weiter von ihm ab; zuweilen findet sogar durch einige Jahre ein Vorwärtsschreiten statt. Jenes Schwanken — die Annäherung und Entfernung — kann bis auf 9 und das Vorwärtsschreiten bis auf 18 Secunden steigen. Diese beiden Unregelmäßigkeiten haben eine Periode von 19 Jahren (18 Jahr 219 Tage), nach welcher sie in derselben Weise wiederkehren. Man nennt diese Erscheinung die Nutation oder das Wanken der Erdaxe; auf den Aequator und die feste Ekliptik selbst übertragen, nennt man die periodische Bewegung der Durchschnittspunkte beider Ebenen die Nutation in Länge, den periodischen Theil der Aenderung der Neigung hingegen die Nutation der Schiefe der Ekliptik. Wodurch die Nutation entsteht, werden wir noch unten berühren; jetzt wollen wir nur die Thatsache feststellen, und um von derselben eine noch klarere Vorstellung zu verschaffen, führen wir außerdem an, daß es sich so verhält, als ob der Pol des Aequators innerhalb 19 Jahren sich durch die Peripherie einer kleinen Ellipse bewege, deren Mittelpunkt auf dem Kreise um den Pol der Ekliptik jährlich 50,21 Sec. (nach Struve für 1790 50″,23449) rückwärts geht und deren große Axe gegen den Pol der Ekliptik gerichtet ist (s. unten die Figur).

*) Vergl. Gehler's phys. Wörterbuch. N. B. Bd. IX. S. 2133 ff.

Der Grund des Vorrückens der Nachtgleichen, also der Präcession, und des Wankens der Erdaxe, also der Nutation, liegt in der sphäroidischen — an den Polen abgeplatteten, um den Aequator angeschwellten — Gestalt der Erde (vergl. Art. Abplattung, Bd. I. S. 15 und Erde, Bd. II. S. 873 ff.) und in der Anziehung, welche die übrigen Himmelskörper, namentlich Sonne und Mond, gegen die Erde ausüben. Die Anziehung eines äußeren Körpers zieht ein Sphäroid nicht nur nach sich, sondern giebt demselben auch eine Bewegung um seinen Schwerpunkt, es sei denn, daß der anziehende Körper in der Verlängerung der Axen des Sphäroids liege (s. Art. Schwere). Die an dem Aequator der Erde angehäufte Masse kann man sich als einen in der Ebene des Aequators liegenden Ring oder Wulst vorstellen. Da nun die Ebene des Aequators gegen die Ebene der Ekliptik um einen Winkel von 23° 27′ 30″,42 geneigt ist und die Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik 5° 8′ 47″,9 beträgt, so drängen Sonne und Mond, indem ihre Anziehung schief und ungleich auf verschiedene Theile des Erdsphäroids gerichtet ist, die Ebene des Aequators aus ihrer Richtung und zwingen sie, sich von Osten nach Westen zu bewegen, so daß die Aequinoctialpunkte in der Ebene der Ekliptik eine langsame zurückschreitende Bewegung von 50″,41 jährlich haben. Das directe Bestreben dieser Anziehung ist, die Ebene des Aequators und der Ekliptik zusammenfallen zu machen, aber es wird dasselbe durch das Bestreben der Erde ausgeglichen, zu der beständigen Umdrehung um den polaren Durchmesser, der eine ihrer Hauptumdrehungsaxen ist, zurückzukehren. Daher bleibt die Neigung der beiden Ebenen im Allgemeinen constant, wie ja auch ein Kreisel dieselbe Neigung gegen die Ebene des Horizontes behält, wenigstens sind die hervorgebrachten Aenderungen der Neigung nur periodische. Wäre die Erde kugelförmig, so würde diese Wirkung nicht hervorgebracht, und die Aequinoctien würden stets in denselben Punkten der Ekliptik bleiben, wenigstens so weit, als es diese Art von Bewegung betrifft.

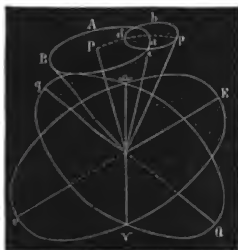
Außer der Einwirkung der Sonne und des Mondes ist im vorliegenden Falle auch der Einfluß der Planeten, namentlich des Jupiter, zu berücksichtigen. Die Wirkung der Planeten auf einander und auf die Sonne verursacht eine allerdings sehr geringe Aenderung in der Lage der Ebene der Ekliptik; aber da hierdurch doch ihre Neigung gegen die Ebene des Aequators eine Aenderung erleidet, so erhalten die Aequinoctialpunkte eine, wenn auch geringe, doch zu berücksichtigende Bewegung. Diese Bewegung ist jetzt direct, also in der Richtung von Westen nach Osten, von jährlich 0″,31, und gänzlich unabhängig von der Gestalt der Erde. Sie würde dieselbe sein, wenn die Erde auch eine Kugel wäre. (Vergl. Art. Schiefe der Ekliptik.) Wenn die Planetenbahnen nach Jahrhunderten eine ganz andere Lage eingenommen haben, so wird der Einfluß der Planeten im entgegengesetzten Sinne zur Geltung kommen und zwar nach Bessel von dem Jahre 2087 an.

So machen Sonne und Mond, indem sie die Ebene des Aequators bewegen, daß die Aequinoctialpunkte in der Ekliptik rückwärts gehen. Diese gemeinsame Wirkung nennt man die Lunisolarpräcession, von welcher 14 bis 15 Sec. auf Rechnung der Sonne kommen, während die Lunarpräcession zwischen 28 und 44 Sec. schwankt, also im Mittel 36 Sec. beträgt. Die Planeten hingegen veranlassen, indem sie die Ebene der Ekliptik bewegen, jetzt ein kleines Vorwärtsgehen, jedoch so klein, daß im Allgemeinen noch ein Rückwärtsgehen der Aequi-

noctialpunkte resultirt. Dies schließlich sich ergebende Rückwärtsgehen, was mithin jetzt kleiner ist, als die Lunisolarpräcession, aber nach Jahrhunderten größer ausfallen wird, heißt die allgemeine, öfter auch die mittlere Präcession.

Haben wir somit den constanten Einfluß der Sonne und den veränderlichen des Mondes auf die Präcession gefunden, so ergiebt sich auch sofort die oben angegebene Periode von 19 Jahren, welche die Nutation befolgt. Die Knoten des Mondes durchlaufen in Zeit von 19 Jahren den ganzen Thierkreis (s. Art. Knoten, Bd. IV. S. 284; Jahr, Bd. IV. S. 5. und Mond), mithin muß der Einfluß des Mondes sich in demselben Zeitraume in gleicher Weise geltend machen, und das ist eben die oben angegebene Unregelmäßigkeit in der Präcession.

Um das Ganze noch anschaulicher zu machen, möge in beistehender Figur der Kreis q ♈ Q den Aequator, der Kreis e ♈ E die Ekliptik vorstellen, p und P seien die respectiven Pole. Nehmen wir an, der Pol des Aequators p bewege sich in der kleinen Ellipse p c d b in etwa 19 Jahren herum, während der Punkt a in 25812 Jahren im Kreise a A B herumgeführt wird, so giebt die Bewegung in der Ellipse einen Begriff von der durch Bradley entdeckten Nutation und die Bewegung in dem Kreise a A B rührt von dem Vorrücken der Aequinoctien her. Die große Axe p d der kleinen Ellipse beträgt 18″,5, ihre kleine Axe b c 13″,74.



Bradley fand, daß die bei dem Kolur der Sonnenwenden (s. Art. Koluren) Bd. IV. S. 323) befindlichen Sterne ihre Deklination nahe um 10 Secunden (nach Busch 9″,23) weniger, als es eigentlich zufolge der Präcession hätte stattfinden sollen, geändert hatten, dagegen die bei dem Kolur der Nachtgleichen befindlichen nahe um 10 Secunden mehr. Der nördliche Pol des Aequators schien sich also denjenigen Sternen genähert zu haben, die im März und December mit der Sonne zugleich culminiren, dagegen von denen zurückgewichen zu sein, bei denen dies im Juni und September stattfindet *). Er bezeichnete dies als ein Wanken (Nutation) der Erdaxe und bald erkannte man, daß dies eine Folge des Vorrückens der Knoten der Mondbahn war.

Die allgemeine oder mittlere jährliche Präcession ist einer seculären Aenderung unterworfen; denn obgleich die Aenderung in der Ebene der Ekliptik, in welcher die Sonnenbahn liegt, unabhängig von der Gestalt der Erde ist, so ändert sie doch, indem sie Sonne, Mond und Erde in verschiedene relative Stellungen bringt, von Jahrhundert zu Jahrhundert die directe Wirkung der beiden ersten auf die hervorragende Masse um den Aequator. Deshalb ist die Bewegung der Aequinoctien jetzt um 0″,455 größer, als sie es zu Hipparch's Zeiten war.

---

*) Philos. Transact. f. 1748. Bradley entdeckte die Nutation durch dieselben Beobachtungen der Zenithdistanzen, nämlich γ des Drachen und 22 anderen Sternen, durch welche er auch die Aberration fand. Die Beobachtungen gehen vom 19. Aug. 1727 bis 3. Septbr. 1747.

Folglich ist die gegenwärtige Länge des tropischen Jahres um etwa 4,21 Sec. kürzer, als sie es zu jener Zeit war. Die äußerste Aenderung, welche es durch diese Ursache erleiden kann, beläuft sich auf 43 Secunden. Wir verweisen auf Art. Jahr und Monat, heben indessen hier hervor, daß, eben weil die Bewegung der Sonne vorwärts und die der Aequinoctialpunkte rückwärts ist, die Sonne bei ihrer scheinbaren Bewegung eine kürzere Zeit gebraucht, um nach dem Aequator zurückzukommen, als nach denselben Sternen. Das tropische Jahr von 365 Tagen 5 Stunden 48 Minuten und 47,81 Secunden muß deshalb, damit man die Länge des Sonnenjahres erhält, um die Zeit vergrößert werden, welche die Sonne braucht, um einen Bogen von 50″,2 zu durchlaufen. Es beträgt folglich das siderische Sonnenjahr 365 mittlere Sonnentage 6 St. 9 Min. und 10,75 Sec. Wegen der angegebenen seculären Aenderung der mittleren jährlichen Präcession ist indessen die Länge des mittleren tropischen Jahres verschieden und ebenfalls einer seculären Aenderung unterworfen. Im Jahre 3040 v. Chr. war dasselbe ein Maximum, 7600 nach Chr. ist es ein Minimum, so daß es von da an wieder an Länge zunimmt. Die wirklichen Längen des tropischen Jahres ergeben sich in den verschiedenen Zeiten, z. B. in folgender Weise:

3040 v. Chr.	365 Tage	5 St.	49 Min.	24,83 Sec.	Maximum.
1800 n. Chr.	365 „	5 „	48 „	50,83 „	„
2360 „ „	365 „	5 „	48 „	46,83 „	„
7600 „ „	365 „	5 „	48 „	8,83 „	Minimum.

Die wahre Ursache des Vorrückens der Nachtgleichen erkannte zuerst Newton *). Im Jahre 1747 löste d'Alembert das Problem und 1750 unabhängig von diesem Euler **). Laplace in seiner Méc. céleste hat mit großer Genauigkeit alle Erscheinungen aus der Theorie abgeleitet und in neuerer Zeit hat namentlich Bessel sich durch seine Correction verdient gemacht. Nimmt man denjenigen größten Kreis der Himmelskugel als feste Ebene an, mit welchem zu Anfang des Jahres 1750 die Ekliptik zusammenfiel, so hat man nach Bessel in dem Zeitraume von 1750 bis 1750 + t die Größe, um welche die Längen aller Sterne durch die Lunisolarpräcession zunehmen, =

$$t \,.\, 50'',37572 - t^2\, 0'',0001217945.$$

Die Größe, um welche in Folge der Präcession durch die Planeten die Rectascensionen aller Sterne in dem Zeitraume von 1750 bis 1750 + t abnehmen, ist =

$$t \,.\, 0'',17926 - t^2\, 0'',0002660394.$$

H. E.

Nachtgleichenpunkte, s. Nachtgleichen.

Natrium, Natronium (Sodium), ein einfacher Körper, der zu den Leichtmetallen (der Gruppe der Alkalimetalle) zählt. Chemisches Zeichen = Na. Aequivalent = 289,729 (O = 100) oder 23,215 (H = 1).

Dieser Körper kommt im metallischen Zustande in der Natur nicht vor; die Verbindungen desselben, namentlich die mit Chlor und Sauerstoff, und die des Oxydes mit Säuren finden sich weit verbreitet. Das Chlornatrium macht einen Hauptbestandtheil der Soolquellen und des Meerwassers aus; außerdem enthält

*) Principia phil. nat. Lib. III. Prop. 39.

**) Mémoir. de l'Acad. de Berlin. 1750.

wohl das Wasser überhaupt geringe Mengen davon. Auch im festen Zustande finden sich mächtige Lager von Chlornatrium (Steinsalz). Von den Salzen kommen in der Natur vor: das salpetersaure, borsaure, schwefelsaure und kohlensaure Natron; die beiden letzteren häufig in Mineralquellen. Mit Kieselsäure verbunden ist das Natron hauptsächlich in folgenden Mineralien enthalten: im Natronfeldspath oder Albit (mit 10 Proc. Natron), im Analcim (mit 14 Proc.), im Sodalith (mit 25 Proc.) und im Natrolith (mit 16 Proc.). Die große Verbreitung der Natronsalze in der Natur erklärt das allgemeine Vorkommen derselben in den Pflanzen und durch diese gelangt es wieder in den thierischen Organismus und in den Körper der Menschen. Die Hauptquellen für die Darstellung der Natronsalze, die für das alltägliche Leben eine große Wichtigkeit erlangt haben, bilden die Soolquellen, das Meerwasser und die Asche der Meer- und Strandpflanzen.

Die Darstellung des Natrium ist der des Kalium so ähnlich, daß wir darüber wenig zu sagen haben. In neuester Zeit hat sich Matthiessen auf Veranlassung von Bunsen mit der Darstellung der Metalle aus den Alkalien und alkalischen Erden beschäftigt *). Dadurch, daß er dem großen positiven Kohlenpole gegenüber einen Draht von der Dicke einer Stricknadel anwandte, gelang die Reduction aus den Chloriden so leicht, daß dieser Versuch künftig bei den Vorlesungen ausgeführt werden kann. Zur Darstellung im Großen dient ein inniges Gemenge von kohlensaurem Natron mit Kohle. Hauptsache jedoch ist, daß das kohlensaure Natron durchaus frei sei von schwefelsaurem Natron, sonst bildet sich Schwefelnatrium, wodurch das eiserne Gefäß leicht angegriffen wird. Um vor dieser Verunreinigung ganz sicher zu sein, bereitet man sich das kohlensaure Natron in der Regel durch Verkohlen des essigsauren Salzes. Ferner muß man verhüten, daß das Gemenge nicht zu flüssig werde beim Erhitzen; denn sonst spritzt es umher und kann so leicht die Abzugsröhre verstopfen. Sonst geht hier die Operation leichter von statten als bei der Darstellung des Kalium, weil das Natrium bereits bei einer weit niederen Temperatur überdestillirt und zwar ohne alle Gefahr.

Ein gutes Mischungsverhältniß giebt nach Schödler 1 Pfund trocknes kohlensaures Natron und $^1/_4$ Pfund feines Kohlenpulver. Um die Masse poröser zu machen, setzt man noch $^1/_2$ Pfund grobes Kohlenpulver hinzu. Hieraus soll man $4^1/_2$ Unze Natrium erhalten, also 64,54 Proc. Nach Gmelin bringt man 66 Unzen krystallisirtes kohlensaures Natron mit 4 Unzen feinem Kohlenpulver unter beständigem Umrühren in einem eisernen Kessel zur staubigen Trockne und setzt dann noch 12 Unzen grobes Kohlenpulver hinzu.

In neuester Zeit will Deville in Folge der Darstellung des Aluminium auch die Bereitung des Natrium wesentlich verbessert haben. Doch scheint der Erfolg hier eben nicht besser zu sein wie dort, wenigstens waren die großen Massen von Natrium, die Deutschland eingeschickt hatte, auf der Pariser Ausstellung den Franzosen ein Dorn im Auge. Die großen Verbesserungen Deville's scheinen darauf hinauszulaufen, daß er die, welche Donny und Mareska für die Bereitung des Kalium empfohlen, auch hier zur Anwendung gebracht hat, was anderwärts wohl schon längst geschehen ist. Außerdem setzt er dem trocknen kohlen-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 277.

sauren Natron 15 Proc. Kalk zu und rührt das Ganze nach dem Zusatz des Kohlenpulvers mit Oel zu einem trocknen Teige an *).

Auch in seinen Eigenschaften steht das Natrium dem Kalium sehr nahe. Das specifische Gewicht (0,97) ist etwas größer als das des Kalium. Die Verwandtschaft zum Sauerstoff ist jedoch weniger groß wie beim Kalium, daher behält die frische Schnittfläche auch länger den Metallglanz. Nichtsdestoweniger aber reducirt das Natrium die meisten oxydirten Körper, seien es Basen oder Säuren. Das Natrium zersetzt allerdings das Wasser selbst bei gewöhnlicher Temperatur und die Erscheinungen sind hier ganz dieselben, wie beim Kalium; indessen findet eine Entzündung nur statt, wenn das Wasser bis auf 40° C. erwärmt worden ist oder wenn man die Bewegung der Kugel auf der Oberfläche des Wassers verhindert und dadurch also auch den Verlust der Wärme, die sich in Folge der chemischen Thätigkeit erzeugt. Die Entzündung tritt ein, wenn man das Natrium auf nasses Papier, Holz oder nasse Kohle wirft. Der Weg, den die brennende Natriumkugel zurückgelegt hat, ist durch eine schöne Kette bezeichnet, die auf das regelmäßigste gegliedert erscheint, deren Glieder jedoch nicht verschlungen sind, sondern neben einander liegen. Das Natrium brennt mit gelber Flamme. Gegen Ende der Verbrennung tritt eine Explosion ein wie beim Kalium. Knop hat gezeigt **), daß das Product der Verbrennung Natronhydrat ist.

Von den Verbindungen des Natrium mit Sauerstoff kennt man drei: das Superoxyd (NaO 2), das Oxyd (NaO) und das Suboxyd (Na^2 O). Erhitzt man das erstere mit doppelt so viel Natrium, als darin schon enthalten ist, so erhält man das wasserfreie Oxyd. Die Bereitungsarten dieser Verbindungen sind sonst auch denen der entsprechenden Verbindungen des Kalium analog. Die wichtigste Verbindung ist auch hier das

Natriumoxyd, Natron, Natrum, Soda, ätzendes oder kaustisches Natron, Mineral-Alkali, mineralisches Laugensalz, Oxydum natricum, Soude. — Den Namen Laugensalz hat das Natron daher bekommen, weil es wie das Kali durch Auslaugen der Asche gewisser Meerpflanzen gewonnen wird; die Benennung Mineral-Alkali rührt daher, daß man früher glaubte, das Kali komme nur in Pflanzen und nicht in Mineralien vor, während man die Gegenwart des Natron in verschiedenen Mineralien sehr bald erkannte. Insbesondere aber ist diese Benennung von dem Mineralsalz entlehnt, das man früher, bevor man die Natur des Chlor erkannt hatte, für salzsaures Natron hielt. Ueberhaupt verwechselte man das Natron sehr lange Zeit mit dem Kali; die Unterschiede wurden erst durch Duhamel 1736 und Marggraf 1756 festgestellt. In der Natur kommt das Natron im reinen Zustande nicht vor.

Das wasserfreie Natron bildet eine graue Masse von muschligem Bruch, welche in der Rothglühhitze schmilzt und nur schwierig sich verflüchtigen läßt. Spec. Gewicht = 2,805. Nichtleiter der Elektricität. Im wasserfreien Zustande findet das Natron keine Verwendung, wohl aber mit Wasser verbunden als Hydrat (NaO, HO), sei es im festen Zustande oder in Auflösung als kaustische oder Aetznatronlauge. Die Bereitungsart ist ganz dieselbe wie beim Kalihydrat, nur

---

*) Compt. rend. T. XXXIX. p. 901; T. XL. p. 1296.

**) Chem. Centralbl. 1854. S. 822. Zeitschr. f. d. gesammte Naturw. Bd. IV. S. 382.

sind die Verhältnisse andere. Man nimmt gewöhnlich: 3 Th. krystallisirtes kohlensaures Natron, 15 Th. Wasser, 1 Th. Kalk mit 3 Th. Wasser zu einem Brei verwandelt. Weniger gebräuchlich und umständlicher ist die Zersetzung des schwefelsauren Natron durch Barytwasser oder reines Aetzkali.

Im festen Zustande bildet das Natronhydrat (NaO, HO) eine weiße, durchsichtige, spröde Masse mit faserigem Bruch. Spec. Gew. = 2,0. Von der Bereitung in eisernen Geschirren ist es oft mit Eisenoxyd verunreinigt, das sich beim Auflösen ausscheidet. Aus einer concentrirten Auflösung setzt sich eine mehr Wasser enthaltende Verbindung in vierseitigen Tafeln ab, die jedoch sehr unbeständig und daher noch nicht genau untersucht worden ist. Das Aetznatron besitzt dieselben chemischen Eigenschaften wie das Aetzkali, nur in einem geringeren Grade. Von dem Kali unterscheidet es sich dadurch, daß es anfänglich zwar auch die Feuchtigkeit der Luft an sich zieht und zerfließt, aber dann bald fest wird, indem es sich mit der Kohlensäure aus der Luft verbindet, während das kohlensaure Kali selbst an der Luft zerfließt.

Das Aetznatron kann zu denselben Zwecken verwendet werden, wie das Aetzkali. Oft zieht man ersteres vor, weil es billiger und auch leichter rein herzustellen ist. Tönnermann hat eine Tabelle entworfen, mittelst der man aus dem specifischen Gewicht der Lauge deren Gehalt an Natronhydrat erkennen kann.

Spec. Gew.	Proc.	Spec. Gew.	Proc.	Spec. Gew.	Proc.
1,4285	30,220	1,3198	22,363	1,1142	7,253
1,4193	29,616	1,3143	21 894	1,0948	6,648
1,4101	29,011	1,3125	21,758	1,0855	6,044
1,4011	28,407	1,3053	21,154	1,0764	5,440
1,3923	27,802	1,2982	20,550	1,0675	4,835
1,3836	27,200	1,2912	19,945	1,0587	4,231
1,3751	26,594	1,2843	19,341	1,0500	3,626
1 3668	25,989	1,2775	18,730	1,0414	3,022
1,3586	25,885	1,2708	18,132	1,0330	2,418
1,3505	24,780	1,2642	17,528	1,0246	1,813
1,3426	24,176	1,2578	16,923	1,0163	1,209
1,3349	23,572	1,2515	16,319	1,0081	0,604
1,3273	22,967	1,2453	15,714	1,0040	0,302

Mit den Säuren bildet das Natron zahlreiche Salze, die sich dadurch von den Kalisalzen unterscheiden, daß sie das in großer Menge enthaltene Krystallwasser nach und nach abgeben und zerfallen. Beim Erhitzen zergehen sie zum Theil in dem Krystallwasser und schmelzen erst nach dem Verdampfen desselben. Sie sind meistens feuerbeständig, nur einige geben einen Theil der Säure beim Erhitzen ab, wie z. B. das doppelt kohlensaure Natron; die Haloidsalze dagegen sind alle flüchtig. Sie sind ferner meistens im Wasser löslich, leicht krystallisirbar und farblos, wofern nicht die Säure oder der elektronegative Bestandtheil überhaupt eine Färbung verursacht. Die Salze mit schwachen Säuren reagiren in der Auflösung alkalisch. Viele dieser Salze sind für das Leben von großer Wichtigkeit.

Kohlensaures Natron, Soda (NaO, CO^2). Lange Zeit hindurch gewann man dieses Salz meistens aus der Asche einiger Meerpflanzen. In den Pflanzen selbst ist das kohlensaure Natron nicht fertig gebildet enthalten. Zumeist nahmen die Pflanzen wohl Kochsalz in sich auf und bildeten hieraus Salze mit organischen Säuren. Durch die Zerstörung der letzteren mittelst Hitze, also bei der Verbrennung resultirte erst die Kohlensäure. Unter den Meerpflanzen ist es hauptsächlich der Tang (Fucusarten), die auf Soda benutzt werden, und zwar besonders die Gattungen Reaumuria, Nitraria, Tetragonia und Mesembrianthemum. Zu den Strandpflanzen gehören mehrere Arten der Gattungen Chenopodium, Atriplex, Salicornia, Salsola etc. Die Bereitung der Asche ist sehr einfach; man zündet die getrockneten Pflanzen in Gruben an und führt dem Feuer neuen Brennstoff zu, bis die Grube zur Hälfte oder mehr mit Asche gefüllt ist. Eine vollständige Einäscherung aller Theile erzielt man durch fleißiges Umrühren. Die Asche schmilzt zusammen; nach dem Erkalten schlägt man die Masse in Stücken und bringt sie unter dem Namen „rohe natürliche Soda" in den Handel. Die rohe Soda enthält jedoch viele fremde Beimengungen: schwefelsaures Natron, Schwefelnatrium, Chlornatrium, Jodnatrium, kohlensauren Kalk, Eisenoxyd, Kieselsäure und Kohle. Die beste Sorte kommt aus Spanien, wo eigends zu diesem Zweck die Salsola soda an den Küsten ausgeführt wird. Diese Asche führt den Namen Barilla und enthält 25 bis 30 Proc. kohlensaures Natron. Die Asche von der französischen Küste hat einen geringeren Werth, die bei Narbonne aus Salicornia annua bereitete führt den Namen „Salicor" und die bei Aigues Mortes aus Salsola tragus und Salsola kali bereitete den Namen „Blanquette." Die unter dem Namen Kelp und Varec vorkommenden Aschen enthalten kein oder nur sehr wenig kohlensaures Natron.

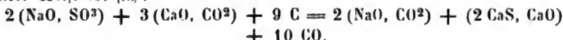
Außerdem findet sich das kohlensaure Natron auch in anderen wärmeren Gegenden. Es entsteht wahrscheinlich durch die Einwirkung von kohlensaurem Kalk auf Chlornatrium, das in der Erde enthalten ist. In Aegypten, Palästina, Mexiko, Indien und Ungarn findet man entweder die sogenannten Natronseen, aus denen das Wasser durch die Sonnenwärme verdampft, wo dann das kohlensaure Natron krystallisirt zurückbleibt, oder es überzieht den Boden nach dem Regen. Die natürliche Soda aus Aegypten führt den Namen Trona und die aus Mexiko Urao. Eine natürliche Soda aus Ostindien enthielt nach Pfeiffer 35,31 Proc. kohlensaures Natron. Die Indianer machen davon einen eigenthümlichen Gebrauch. Sie kneten es mit Tabak zu kleinen Kügelchen zusammen, durch die sie die Absonderung des Speichels befördern.

In Aegypten finden sich in der Wüste von Thaiat auf einer Fläche von 2 Meilen Länge und 78 Meilen Breite 9 solcher Seen. Im westlichen Theile von Unterägypten liegt nach Landeres ein Natronsee, der 4 Meilen lang und 2 Meilen breit ist. Die hier gesammelten Massen bestehen aus anderthalb kohlensaurem Natron ($2 NaO, 3 CO^2 + 4 HO$), verunreinigt durch schwefelsaures Natron, Kochsalz und unlösliche Substanzen. Diese Fundstätten waren bereits im Alterthum bekannt. In der Bibel ist die Rede von einer natürlichen Soda, von der Salomon anführt, daß sie mit Essig aufbrause. Auch bei den Griechen finden wir schon das Wort *νάτρον*. Sie sowohl, wie die Römer bedienten sich der natürlichen Soda zur Darstellung einer Art Seife. Herodot berichtet ferner, daß das Natron in Aegypten mit beim Einbalsamiren der Leichen verwendet worden sei. —

In Ungarn soll man jährlich 15,000 Ctr. sammeln, theils in der Umgegend von Debreczin, theils in der Mitte der großen, sandigen Ebene des Pesther und Bácser Comitats. Nach Szabó sollen die Ausblähungen herrühren von der Einwirkung des kohlensauren Kalkes auf Natronsilikate. Die natürliche Soda führt hier den Namen Székső.

Bis zu Ende des vorigen Jahrhunderts war man auf die angeführten Quellen beschränkt. Durch die Kriege der französischen Republik aber hörte die Einfuhr der Soda auf, wodurch die Fabriken, namentlich die Seifensiedereien einen empfindlichen Verlust erlitten. Man war gezwungen sich vom Auslande unabhängig zu machen und auf eigenen Füßen zu stehen. Die Noth also war es, welche zu einer der wichtigsten Entdeckungen für die gesammte Industrie führte. Der Wohlfahrtsausschuß erließ im Jahre II ein Dekret, durch welches er alle Bürger aufforderte, mit Hintansetzung aller besonderen Vortheile und Privatspeculationen, ihre Ansichten und Erfahrungen, die Sodafabrikation betreffend, einer besonderen Commission zum Besten des Staates mitzutheilen. Auf diesen Ruf gingen sechs Vorschläge ein und alle hatten das Chlornatrium, die bekannteste und verbreitetste Natronverbindung, zum Ausgangspunkte gewählt. Unter diesen erhielt der von Leblanc den Vorzug; trotz der Unvollkommenheiten, die diesem Verfahren anhaften, ist es bis jetzt noch fortwährend in Anwendung.

Nach Leblanc wird das Kochsalz durch Schwefelsäure zersetzt und das schwefelsaure Natron durch Glühen mit Kohle und kohlensaurem Kalk in kohlensaures Natron verwandelt. Wenn man 1 Aequivalent schwefelsaures Natron mit 1 Aeq. kohlensaurem Kalk erhitzt, so findet zwar eine Zersetzung statt, aber beim Auflösen des kohlensauren Natron in Wasser bildet sich wieder viel schwefelsaures Natron. Man muß also suchen eine unlösliche Kalkverbindung herzustellen. Am besten gelingt dies, wenn man 2 Aeq. schwefelsaures Natron, 3 Aeq. kohlensauren Kalk und 9 Aeq. Kohle auf einander einwirken läßt. Die Reaction geht in folgender Weise vor sich:



$$2\,(NaO,\,SO^3) + 3\,(CaO,\,CO^2) + 9\,C = 2\,(NaO,\,CO^2) + (2\,CaS,\,CaO) + 10\,CO.$$

Die besten Verhältnißzahlen der Praxis weichen nicht sehr bedeutend von den theoretisch berechneten ab. Man nimmt in der Regel

1000 Th. schwefelsaures Natron,
1040 „ kohlensauren Kalk,
530 „ Kohle.

Die Zersetzung des Kochsalzes wird in einem Flammenofen vorgenommen. Bei der gewöhnlichen ordinären Soda nimmt man jedoch weniger Schwefelsäure als zur vollständigen Zersetzung des Kochsalzes nothwendig ist, so daß 15 bis 40 Proc. des letzteren unzersetzt bleiben. In England und dem südlichen Frankreich wird die Fabrikation der Soda in einem so großen Maßstabe betrieben, daß man die hierbei entweichende Salzsäure nicht einmal auffängt, da sich für diese Massen keine Verwerthung findet; man leitet sie durch sehr hohe Essen in die Luft.

Die Zersetzung des schwefelsauren Natron durch kohlensauren Kalk und Kohle findet gleichfalls auf der Sohle eines Flammenofens statt, weil solche erst in einer sehr hohen Temperatur vor sich geht. Das Glaubersalz schmilzt, so daß die ganze Masse breiartig wird. Die Zersetzung befördert man durch fleißiges Umrühren der Masse. Hat die Entwickelung des Kohlenoxydgases nachgelassen, sind die blauen

Flämmchen dem Erlöschen nahe, so zieht der Arbeiter eine kleine Probe heraus und erkennt durch den Anblick und die Gleichförmigkeit der Masse, ob die Einwirkung vollständig vor sich gegangen ist. Die erkaltete Masse stellt die rohe künstliche Soda vor. Sie ist ein Gemenge von kohlensaurem Natron mit Aetznatron, Schwefelcalcium-Kalk, Kochsalz, Glaubersalz und Kohle.

Auf den Bau der Oefen kommt hierbei viel an. Die ersten, von Leblanc und Dizé's erbauten, waren zu klein und deshalb nicht geeignet, die erforderliche hohe und gleichmäßige Temperatur hervorzubringen. Leblanc wußte diese Hindernisse nicht zu besiegen, so daß er voller Verzweiflung starb. Payen, d'Arcet und namentlich Clement Desormes wendeten größere Oefen an, wodurch sich die Kosten für Brennstoffe und Handarbeit bedeutend verminderten. In neuerer Zeit hält man zu große Oefen doch nicht für vortheilhaft.

Die rohe Soda wird theilweise als solche in der Industrie verwendet (Seifensiederei, Bleicherei, Glasfabrikation), theils wird sie durch Auslaugen und Krystallisiren gereinigt. Man treibt hierbei das Abdampfen der Lauge so weit, daß einfach gewässertes kohlensaures Natron (NaO, CO^2, HO) niederfällt; die ersten Portionen sind unrein, da sie die unlöslichen Theile der Lauge mechanisch mit niederreißen. Das später Niederfallende ist jedoch rein und wird besonders herausgeschöpft, zum Abtropfen auf einen mit Blei ausgefütterten Trichter von Holz gebracht und endlich unter fortwährendem Umrühren in einem eisernen Gefäß durch Wärme ausgetrocknet. Dies Fabrikat führt den Namen „Sodasalz" oder „gereinigte wasserfreie (calcinirte) Soda." Trotz dieses Namens hat man doch sorgfältig auf den Wassergehalt beim Kauf zu achten; solcher ist oft nicht unbedeutend. Ganz rein ist dieses Präparat nie; es enthält Aetznatron, wodurch der Werth nicht beeinträchtigt, sondern im Gegentheil vermehrt wird; außerdem aber noch Glaubersalz, Kochsalz, Schwefelnatrium und unterschwefligsaures Natron, zuweilen bis zu 20 Proc.

Die Unreinigkeiten bleiben zumeist in der Mutterlauge zurück; daher wird diese eingedampft, mit Sägespänen oder Kohle vermengt und in einem Flammenofen calcinirt. Das Aetznatron, so wie ein Theil des Schwefelnatrium verwandelt sich hierbei in kohlensaures Natron. Auf diese Art erhält man jedoch ein weniger reines Präparat.

Durch die künstliche Darstellung der Soda hat die gesammte Industrie einen gewaltigen Aufschwung genommen. Frankreich verarbeitet jährlich 1,069,000 Ctr. Kochsalz zu Soda. Deutschland bereitet trotz seiner zahlreichen Kochsalzquellen seinen Bedarf nicht ganz. 1850 wurden 115,023 Ctr., 1851 121,873 Ctr. eingeführt und zwar nach Abzug der unbedeutenden Ausfuhr (circa 5000 Ctr.). Hauptsächlich wird die Soda aus England bezogen, weil hier das Kochsalz und das Brennmaterial bedeutend wohlfeiler sind.

Bei der großen Ausdehnung, welche die Sodafabrikation erlangt hat, besonders in Folge der Vertheuerung der Kalisalze wegen der Abnahme der Wälder, machen sich die Mängel des gebräuchlichen Verfahrens sehr fühlbar. Einmal ist die Umwandlung des Kochsalzes in Soda an und für sich sehr umständlich und dann geht die ganze Menge Schwefelsäure hierbei verloren. An Vorschlägen hat es freilich nicht gefehlt, aber keiner hat bis jetzt Abhülfe gebracht. Ein Vorschlag jedoch verdient, wie uns die Ausstellungen zu London und Paris gezeigt haben,

alle Beachtung. Balard, der Entdecker des Brom, hat auf die Schätze aufmerksam gemacht, die in der Mutterlauge enthalten sind, welche bei der Bereitung des Meersalzes abfällt. Agard, Prat und Comp. in Aix haben die von Balard angegebene eben so einfache wie sinnreiche Idee zur Ausführung gebracht und gewinnen seit Jahren durch weitere Verdunstung der Mutterlauge und unter Beobachtung gewisser Grade der Concentration und der Temperatur beim Krystallisiren große Mengen von schwefelsaurem Natron, schwefelsaurem Kali, schwefelsaurer Magnesia, Chlormagnesium und Chlorkalium. Die Ausstellungen zu London und Paris brachten sehr schöne Proben von diesen in vieler Hinsicht äußerst interessanten Producten. Die große Medaille, die den Fabrikanten auf beiden zu Theil wurde, war mit Recht verdient, denn dieser neue Industriezweig, dessen Einführung, obgleich sie so nahe lag, doch lange auf sich hat warten lassen, ist für die gesammte Industrie Frankreichs von der größten Tragweite. Man trägt sich hier mit der Hoffnung, sich nach und nach gänzlich von der Einfuhr des sicilianischen Schwefels, so weit diese nämlich den Gebrauch für die Sodafabrikation betrifft, zu emancipiren. Und dieser Gewinn ist nicht unbedeutend; der Verbrauch an Schwefel zu diesem einzigen Zweck beläuft sich auf 349,855 Ctr. Die Aussicht ist dazu da, denn das Meer ist unerschöpflich.

Bei der vielfältigen Verwendung der Soda kommt die Kohlensäure gar nicht in Betracht, sie muß vielmehr erst durch Kalk entfernt werden. Darum ist es auffallend, warum man nicht das Aetznatron statt der Soda gleich im Großen fabricirt. Dies geschieht aber so selten, daß bei uns selbst auf großen Handelsplätzen der Name nicht einmal bekannt ist. Vorschläge dazu sind schon vor vielen Jahren gemacht, so namentlich von Brückner *).

Das kohlensaure Natron schießt in der Kälte in großen Krystallen (rhombischen Säulen) an, die 62,2 Proc. Wasser enthalten. Die Formel ist $NaO, CO^2 + 10\,HO$. Das Krystallwasser entweicht an der Luft nach und nach und dann zerfallen die Krystalle. Kochendes Wasser löst dann sein gleiches Gewicht auf, kaltes nur die Hälfte. — Vor dem Löthrohr dient die Soda als Reductionsmittel. Nach Wagner **) beruht die reducirende Wirkung darauf, daß sich beim Glühen des Natron auf der Kohle etwas Cyannatrium bildet.

Zweifach kohlensaures Natron, Bicarbonate de soude ($NaO, 2\,CO^2 + HO$ oder $NaO, CO^2 + CO^2, HO$) erhält man durch Sättigen einer Lösung des gewöhnlichen kohlensauren Natron mittelst Kohlensäure. Hierzu benutzt man oft die Kohlensäure, welche sich bei der Gährung entwickelt oder die aus dem Innern der Erde aufsteigt. Bei der Fabrikation im Großen läßt man die Kohlensäure über feuchtes kohlensaures Natron, das in dünnen Schichten auf Horden ausgebreitet ist, streichen. Dieses Salz ist weniger leicht in Wasser löslich, erst in 10 bis 12 Th. Schon bei einer geringen Wärme verliert es die Hälfte seiner Kohlensäure und hinterläßt trocknes einfach kohlensaures Natron. Dasselbe findet mit der Lösung statt, sobald diese anhaltend gekocht wird. Bei der Zersetzung durch Säuren liefert es 52 Proc. Kohlensäure, also beträchtlich viel mehr als das gewöhnliche kohlensaure Natron, das nur 15 Proc. ausgiebt. Deshalb wird

*) Schweigg. Journ. Bd. LXVII. S. 112.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIV. S. 191.

auch das doppelt kohlensaure Natron vielfach zu medicinischen Zwecken, namentlich als Brausepulver oder bei der Darstellung moussirender Flüssigkeiten verwendet. Nach Otto *) ist aber das Alkali und nicht die Kohlensäure das Wesentliche; darnach wäre die jetzt allgemein übliche Bereitung der moussirenden Getränke gerade nicht sehr zu empfehlen. Das Brausepulver ist seit langer Zeit bereits ein beliebtes Hausmittel geworden. Otto empfiehlt dazu 5 Unzen doppelt kohlensaures Natron und 3 Unzen Weinsteinsäure. Das Gemisch hält sich lange Zeit in einer Pappschachtel, wofern diese nicht feucht steht; weniger gut in einem fest verstopften Glase. Hier verliert es schon nach einigen Tagen die Eigenschaft, nach der es den Namen führt. Der Grund liegt in einem gewissen Gehalt an Feuchtigkeit, welche die Zersetzung einleitet, wenn es nicht leicht abdunsten kann. Trocknet man das Brausepulver aus und schüttet es in erwärmtes Glas, so hält es sich hierin noch ganz gut, nicht aber wenn die Bestandtheile einzeln vor dem Mischen getrocknet worden sind.

Das doppelt kohlensaure Natron wird auch zum Vergolden und Verplatiniren von Messing und Kupfer gebraucht. Man kocht die Lösung des Salzes längere Zeit mit Gold- oder Platinchlorid und bringt dann die zu vergoldenden Gegenstände in Berührung mit einem Eisendraht in die siedende Flüssigkeit. — Oft ist das doppelt kohlensaure Natron nicht vollständig mit Kohlensäure gesättigt. Durch Waschen mit reinem oder mit Kohlensäure gesättigtem Wasser kann man die Beimengungen (anderthalb oder einfach kohlensaures Natron) entfernen. Die Reinheit des Salzes erkennt man an folgenden Reactionen. Eine kalt bereitete Lösung bringt in gewöhnlichem Wasser oder in einer Lösung eines Bittererdesalzes keine Fällung hervor; eine Lösung von Quecksilbersublimat wird dadurch weiß und nicht braun gefällt.

Salpetersaures Natron, Natronsalpeter, Chilisalpeter, Würfelsalpeter oder kubischer Salpeter, Natrum nitricum, Azotate de soude, NaO, NO^5, findet sich in großen Mengen in der Provinz Atakama in Peru auf einer Ausdehnung von mehr als 30 Meilen. Die Entstehung dieser Ablagerungen ist noch nicht hinreichend erklärt. So, wie es hier gegraben wird, kommt es in den Handel. Durch Auflösen unter Zusatz von wenig kohlensaurem Natron und Umkrystallisiren wird es leicht gereinigt. Es krystallisirt in stumpfen Rhomboëdern, die Aehnlichkeit mit Würfeln haben. Dieses Salz kann in allen Fällen den Kalisalpeter ersetzen; nur bei der Fabrikation des Schießpulvers ist es nicht zu verwenden, da es die Feuchtigkeit der Luft anzieht. Der Chilisalpeter ist bedeutend billiger als der Kalisalpeter und hat dazu noch ein bedeutend geringeres Atomgewicht; daher gebraucht man für denselben Zweck $^1/_7$ des ersteren weniger. Man stellt aus dem Natronsalpeter auch Kalisalpeter dar durch Zersetzen mittelst Chlorkalium oder Pottasche. In der neuesten Zeit wird der Natronsalpeter vielfach als Dünger verwendet.

Schwefelsaures Natron, Glaubersalz, Natrum sulphuricum, Sal mirabile Glauberi, Sulphate de soude NaO, $SO^3 + 10$ HO. Dieses Salz findet sich in kleinen Mengen in gewissen Mineralquellen, im Meerwasser und in den Salzsoolen vor. Außerdem kommt es auch als Ausblähung an verschiedenen Orten vor. Neuerdings hat man in Spanien reiche Lager davon entdeckt. In der Provinz

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 378.

Toledo, zwischen Madrid und dem Meere finden sich zahlreiche Seen, die während des Sommers austrocknen und dann eine fast weiße, feste Salzdecke hinterlassen, von der die Sonnenstrahlen fast eben so reflectirt werden, wie von polirtem Silber. Die Salzlagerungen enthalten alle dieselben Substanzen. Sie theilen sich in drei, leicht von einander zu trennende Lagen; die erste besteht im Wesentlichen aus Chlornatrium und schwefelsaurer Magnesia, die zweite aus schwefelsaurem Natron und die unterste aus einem Doppelsalz ($NaO, SO^3 + MgO, SO^3$ 8 HO). Es hat sich eine eigene Gesellschaft gebildet, die den Professor Munoy y Luna zu ihrem Director ernannt hat, um diese Ablagerungen für den Handel auszubeuten. Bis jetzt sind schon 20,000 Kilos Glaubersalz gewonnen, die für 8 Frcs. die 100 Kilos verkauft werden. In kurzer Zeit wird man auch die Magnesiasalze darstellen und das Glaubersalz in Soda verwandeln. — Der sogenannte Mauer- oder Kehrsalpeter besteht nach den Untersuchungen von Vogel und Kuhlmann*) aus kohlensaurem Natron und Glaubersalz; von Salpeter findet sich darin keine Spur.

Das Glaubersalz gewinnt man in großer Menge aus den Mutterlaugen der Salinen. Läßt man diese bei einer Temperatur von 0° krystallisiren, so schießt daraus Glaubersalz an, indem das Chlornatrium die schwefelsaure Magnesia zersetzt. Früher fiel das Glaubersalz in großen Mengen bei der Bereitung der Salzsäure ab und jetzt bei der der Salpetersäure und des Salmiak.

Das schwefelsaure Natron mit 10 Aeq. Wasser krystallisirt in großen, durchsichtigen, gestreiften Säulen. Es ist leicht in Wasser löslich und hierbei zeigt sich eine sehr bemerkenswerthe Anomalie. Bei 0° nehmen 100 Th. Wasser nur 5 Th. Glaubersalz auf, bei + 33° aber 322 Th., dann aber vermindert sich die Löslichkeit mit der Temperatur, so daß kochendes Wasser davon nur 263 Th. auflöst. Dies fällt zusammen mit einer Veränderung der Constitution des Glaubersalzes. Läßt man das Glaubersalz aus seiner Lösung bei einer Temperatur über 33° krystallisiren, so ist es wasserfrei. Bei 0° krystallisirt das Glaubersalz mit 7 Aeq. Wasser. — An der Luft verlieren die Krystalle nach und nach das Wasser und zerfallen. Beim Erwärmen schmilzt das Glaubersalz in dem Krystallwasser; nach dem Verdampfen des Wassers schmilzt es erst in der Rothglühhitze ohne Zersetzung.

Das Glaubersalz wird als Abführungsmittel in der Medicin gebraucht; mit Weinstein und kohlensaurem Natron bildet es das beliebte Seidlitz Powder. Mit verdünnten Säuren dient es zu Kältemischungen. Dann wird das Glaubersalz in großer Menge bei der Glasfabrikation verbraucht.

Unterschwefligsaures Natron, Hyposulfide de soude ($NaO, S^2 O^2 + 5 HO$). Man erhält dieses Salz, wenn man Schwefel in einer Lösung von schwefligsaurem Natron auflöst. Das unterschwefligsaure Natron schießt daraus in großen durchsichtigen Krystallen an. Die Krystalle schmelzen in dem Krystallwasser; bei gelinder Wärme kann man das Wasser ganz verdampfen, ohne daß das Salz sich zersetzt. In neuerer Zeit wird dieses Salz vielfach bei der Darstellung der Lichtbilder gebraucht, um das unveränderte Silbersalz aufzulösen. In Folge dessen ist es von Percy auch vorgeschlagen zum Ausziehen des Silbers aus Erzen. Ferner dient es als Antichlor, um bei der Chlorbleiche die schädlichen Folgen auf-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXV. S. 231.

zuheben. Es giebt auch ein sehr gutes Mittel ab, um Flecke von Rothwein, Kirschen, Heidelbeeren, Himbeeren, Preißelbeeren oder Johannisbeeren aus dem Tischzeuge zu entfernen. Selbst Stock- und Rostflecke können dadurch aus der Wäsche entfernt werden. Man befeuchtet zu dem Ende die Stelle zuerst mit Wasser und streut eine Messerspitze voll unterschwefligsaurem Natron darauf. Nach einigen Minuten befeuchtet man von Neuem mit Wasser und streut nun eine Messerspitze voll Weinsteinsäure auf. Frische Flecke verschwinden augenblicklich; bei alten läßt man die Einwirkung einige Stunden andauern, indem man von Zeit zu Zeit die Stelle befeuchtet, und spült dann das Tuch mit reinem Wasser aus. Eine Zerstörung der Wäsche hat man nicht zu befürchten. Die Weinsäure entwickelt nach und nach schweflige Säure aus dem Natronsalz und diese bewirkt das Bleichen der Farbe. — Von Himly und Vohl ist das unterschwefligsaure Natron zur Verwendung in der Analyse anstatt des Schwefelwasserstoffs empfohlen.

Die Verbindungen des Natron mit der Phosphorsäure sind sehr zahlreich. Man unterscheidet hauptsächlich dreibasisch oder gewöhnliches phosphorsaures Natron, zweibasisches oder pyrophosphorsaures Natron und einbasisches oder metaphosphorsaures Natron. Das gewöhnliche phosphorsaure Natron $(2\,NaO + HO) + PO^5 + 24\,HO$ bereitet man durch Sättigen des sauren phosphorsauren Kalkes, der durch Zersetzen der gebrannten Knochen mittelst Schwefelsäure erhalten ist, mit kohlensaurem Natron. An der Luft verlieren die Krystalle das Wasser und zerfallen. Das Salz reagirt deutlich alkalisch und ist leicht löslich in Wasser: in 2 Th. des kochenden und in 4 Th. des kalten. Es schmilzt beim Erwärmen in dem Krystallwasser; bei gelinder Temperatur erhält man wasserfreies dreibasisches Salz $(2\,NaO, HO)\,PO^5$, das beim Auflösen in Wasser und Krystallisiren wieder 24 At. Wasser aufnimmt. Bei hoher Temperatur geht auch das basische Wasser fort und die Formel ist nun $2\,NaO.\,PO^5$. Man hat jetzt ein ganz anderes Salz; löst man dasselbe in Wasser und läßt es krystallisiren, so erhält man ein Salz von der Formel $2\,NaO.\,PO^5 + 10\,HO$. Es besitzt ganz andere Eigenschaften wie das gewöhnliche phosphorsaure Natron. Es zerfällt nicht an der Luft. Während eine Lösung des gewöhnlichen phosphorsauren Natron mit salpetersaurem Silberoxyd einen gelben Niederschlag giebt, erhält man bei dem pyrophosphorsauren Natron einen weißen.

Setzt man zu dem gewöhnlichen phosphorsauren Natron einen Ueberschuß von kohlensaurem Natron, so erhält man ein Salz von der Formel $3\,NaO.\,PO^5 + 24\,HO$. Aus diesem kann man durch Glühen nicht das pyrophosphorsaure Salz darstellen. Bei Ueberschuß von Phosphorsäure erhält man aus dem gewöhnlichen noch ein anderes dreibasisches Salz $(NaO + 2\,HO)\,PO^5\,2\,HO$. Dies Salz reagirt stark sauer. Bei gelinder Wärme kann man das Krystallwasser austreiben, bei stärkerer verjagt man zuerst das eine, dann aber auch das andere Atom des basischen Wassers und erhält so pyrophosphorsaures oder metaphosphorsaures Natron, die durch Auflösen in Wasser und Krystallisiren nicht wieder in das dreibasische Salz verwandelt werden. — Aus dem pyrophosphorsauren Natron $2\,NaO.\,PO^5 + 10\,HO$ kann man durch Zusatz von Phosphorsäure noch ein zweites zweibasisches Salz $(NaO + HO).\,PO^5$ erhalten, das auch eine stark saure Reaction besitzt. Bei starker Hitze geht auch hier das basische Wasser verloren und man hat dann metaphosphorsaures Natron, das mit salpetersaurem Silberoxyd dieselbe Reaction giebt, wie das pyrophosphorsaure Natron. Als Unterscheidungszeichen beider dient das

Verhalten gegen Eiweiß. Durch metaphosphorsaures Natron wird dasselbe coagulirt, durch pyrophosphorsaures und gewöhnliches phosphorsaures Natron aber nicht.

Ueber den Grund dieser Verschiedenheiten hat zuerst Graham Rechenschaft gegeben, indem er die Existenz dreier verschiedener Phosphorsäuren nachwies. Nach Regnault kann man die Verschiedenheit der Phosphorsäuren erklären, ohne daß man die Existenz dreier verschiedener isomerischer Zustände annimmt, worüber wir beim Phosphor berichten werden.

Das gewöhnliche phosphorsaure Natron dient als Arzneimittel. In Verbindung mit Ammoniak ($PO^5 . NaO . NH^4 O . HO$) dient das Phosphorsalz als Reagens bei Löthrohruntersuchungen. Man löst 6 Th. phosphorsaures Natron und 1 Th. Salmiak in 2 Th. heißem Wasser und läßt erkalten. Durch Umkrystallisiren befreit man das Doppelsalz von dem anhängenden Chlornatrium. Beim Erhitzen vor dem Löthrohr entweicht mit dem Wasser auch das Ammoniak und man hat nun ein saures, leicht schmelzendes Salz, das mit vielen Körpern schöner und deutlicher gefärbte Gläser bildet als der Borax.

Borsaures Natron (Bd. I. S. 865).

Kieselsaures Natron. Anstatt der Pottasche kann man auch Soda oder kohlensaures Natron zur Darstellung des Wasserglases verwenden. Das kieselsaure Natron besitzt dieselben Eigenschaften, wie das entsprechende Kalisalz. Schon bei dem kieselsauren Kali (Bd. IV. S. 206) haben wir auf die vielfache nützliche Verwendung, deren das Wasserglas fähig ist, hingewiesen. Leider aber war das Wasserglas eine deutsche Erfindung und deshalb kam sie bei uns auch nicht zur Anerkennung. Den großen Nutzen dieser Entdeckung mußten wir erst vom Auslande lernen. Seitdem Liebig auf der Pariser Ausstellung die vielfachen Anwendungen, die Kuhlmann von dem Wasserglase gemacht hat, gesehen und Kuhlmann's Fabrik selbst in Augenschein genommen hat, stehen die Sachen anders. Liebig's Bericht hierüber in dem Abendblatt der Münchner neuen Zeitung hat die Runde durch alle deutschen Zeitungen gemacht. Jetzt, wo das Wasserglas, wie so viele ursprünglich deutsche Erfindungen, als Fremdling zu uns kommt, findet es eine enthusiastische Aufnahme, so daß endlich die Hoffnungen, die Fuchs mit sich ins Grab nehmen mußte, scheinen zur Wahrheit werden zu wollen. Ueberall findet man jetzt das Wasserglas ausgeboten; so von Buchner in München, Fikentscher in Zwickau, Kunheim in Berlin, Marquardt in Bonn und Joh. Rominger in Stuttgart.

Zu Lille in der Fabrik von Kuhlmann wird das Wasserglas nicht durch Zusammenschmelzen, sondern direct durch Auflösen von Quarz (Feuerstein) in einer starken Natronlauge bei einem Druck von 7 bis 8 Atmosphären bereitet. Die Fabrik hat einen solchen Umfang, daß sie Tausende von Centnern dieses Productes dem Handel und den Gewerben liefert, woraus hervorgeht, daß das Wasserglas bereits in Frankreich eine große Verbreitung gefunden hat. Dasselbe berichtet man aus Oesterreich, woselbst bereits seit 1840 auf Veranlassung von Anthon, Director der gräfl. Wurmbrandtischen Mineralwerke und Fabriken, auf der Herrschaft Weißgrün eine Wasserglasfabrik besteht. Das Wasserglas wird jetzt im festen Zustande oder als Gallerte oder als Lösung ausgeboten. Es wäre sehr gut, wenn man für letztere bestimmte Verhältnisse in Anwendung brächte, wie dies von Marquardt geschieht. Derselbe liefert Lösungen von 33,40 und 66 Graden. Die Zahl der Grade bedeutet hier den Procent-Gehalt an Wasserglas. Das kiesel-

saure Natron ist billiger als das kieselsaure Kali und kann in den meisten Fällen statt des letzteren gebraucht werden.

Die Zwecke, zu denen das Wasserglas verwendet werden kann, sind sehr mannichfaltig. Es dient 1) zum Anstreichen von Holz, um dasselbe gegen die Einwirkung des Feuers, so wie auch der Luft und der Feuchtigkeit zu schützen. Man kann auch den Anstrich mit Oelfarben dadurch ersetzen. 2) Zum Anstrich auf Kalkmörtel und Steine im Innern und Aeußern der Gebäude. Tapeten kann man gleichfalls damit überziehen, wodurch man den Vortheil erreicht, daß man sie abwaschen kann. 3) Zum Anstriche von Metallen, um diese gegen das Rosten zu schützen. 4) Zum Bemalen von Glas und Porzellan. 5) Zum Anstriche oder zur Verkieselung von Steinen, namentlich porösen Kalksteinen und allen solchen, welche der Verwitterung unterworfen sind. 6) Zur Anfertigung von hydraulischem Kalk oder Roman-Cement. 7) Zum Drucken auf Papier und Gewebe. 8) Zum Kitten von Glas, Porzellan, Steinen und Metallen. Wegen des Näheren verweisen wir auf die Literatur *).

Unter den Verbindungen des Natrium mit anderen Elementen ist das Chlornatrium oder Kochsalz Na Cl die wichtigste und in der Natur verbreitetste. Es macht den Hauptbestandtheil der im Meerwasser und den Salzsoolen enthaltenen Salze aus. Außerdem aber kommt es in großen und mächtigen Lagern als Steinsalz vor. Es findet sich auch in sehr vielen thierischen Flüssigkeiten und in vielen Pflanzen.

Die Salzquellen sind theils natürliche, theils künstlich erbohrte. Selten jedoch kann man diese Quellen als eine gesättigte Kochsalzlösung betrachten. Meistens ist der Gehalt an Kochsalz, wie die nachstehende Tabelle zeigt, ein sehr verschiedener, je nachdem die Quellen auf ihrem Wege zur Oberfläche der Erde sich mit mehr oder weniger süßem Wasser vermischen.

	Schönebeck	Dürrenberg	Artern	Kreuznach	Schwalheim	Moutier in Savoyen	Friedrichshall	Schwäbisch Hall	Rosenheim	Lüneburg
Kochsalz	9,623	6,399	2,829	1,415	0,155	1,038	25,56	25,72	22,65	24,66
Chlorkalium	0,007	0,008	0,004	0,006	⸗	⸗	⸗	⸗	0,03	0,04
Chlormagnesium	0,083	0,092	0,038	0,023	0,023	0,030	⸗	⸗	0,22	0,12
Chlorcalcium	⸗	⸗	⸗	0,261	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗
Eisenchlorür	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗	0,010	⸗	⸗	⸗	⸗
Schwefelsaures Kali	0,014	0,004	0,004	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗
Schwefelsaurer Kalk	0,339	0,250	0,158	⸗	⸗	0,251	0,43	0,17	0,36	0,34
Schwefels. Natron	0,249	0,208	0,092	⸗	0,008	0,100	⸗	0,03	0,39	⸗
Schwefels. Bittererde	0,012	0,004	0,004	⸗	⸗	0,055	0,03	⸗	⸗	0,24
Kohlensaurer Kalk	0,026	0,058	0,042	0,003	0,056	0,076	0,01	0,004	0,03	0,01
Kohlens. Bittererde	⸗	⸗	⸗	0,001	0,005	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗
Kohlens. Eisenoxydul	1,001	0,004	0,012	0,005	0,001	0,012	⸗	⸗	⸗	⸗
Thonerde	⸗	⸗	⸗	0,001	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗
Kieselerde	⸗	⸗	⸗	0,013	0,002	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗
Organische Substanz	0,001	0,012	0,017	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗	⸗
Freie Kohlensäure	⸗	⸗	⸗	⸗	0,296	0,075	⸗	⸗	⸗	⸗

*) Kuhlmann, applications des silicates alcalins solubles. Paris, Victor Masson, 1855. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 288. 358. 436; Bd. CXXXIX. S. 371; Bd. CXL. S. 187. 441.

Eine 16löthige Soole, d. h. eine Soole mit 16 Proc. Kochsalz, nennt man eine siedewürdige und solche wird direct aus der Quelle in die Siedeapparate geleitet. Geringe Soolen werden zuerst durch eine freiwillige Verdampfung an der Luft concentrirt. Diese Concentration wird durch die Gradirwerke bewirkt. Die Soole rieselt von der Höhe der Gradirwerke an einer Wand aus Reisigbündeln tropfenweise herunter, so daß jeder einzelne Tropfen wiederholt und längere Zeit der Einwirkung der Luft ausgesetzt ist, wodurch die Verdunstung des Wassers sehr begünstigt wird. Weiter jedoch als bis zu einem Gehalt von 22 Proc. concentrirt man die Soole nicht, weil dann ein Verlust an Kochsalz stattfindet. Durch diese Operation wird die Soole gleichzeitig noch gereinigt; die Reiser überziehen sich mit einer Kruste, dem sogenannten Dornstein, der aus den schwerlöslichen Salzen (Gyps, kohlensaurem Kalk, Eisenoxyd) besteht. Die Verdampfung des Wassers beim Gradiren hängt natürlich ganz von der Witterung ab, von der Wärme und den herrschenden Winden. Man nimmt an, daß bei uns während des Jahres nur durchschnittlich 200 bis 250 Tage zum Gradiren verwendet werden können. — Die siedewürdige Soole wird in großen eisernen Pfannen bis zu 1000 Quadratfuß Bodenfläche und mehr versotten, die in den Salzkothen (Siedehäusern) aufgestellt sind. In dem Maße das Wasser verdampft, wird Soole nachgelassen, bis zu dem Zeitpunkte, wo sich an der Oberfläche eine Salzhaut bildet und sich trichterförmige Kochsalzkrystalle abscheiden. Bis dahin nennt man die Operation „Stören." Hier arbeitet man mit einem starken Feuer, so daß die Soole heftig wallt. Es findet hierbei eine Ausscheidung der schwerlöslichen Bestandtheile (Gyps, kohlensaurer Kalk, Eisenoxyd) statt; gleichzeitig setzen sich aber auch schwefelsaures Natron, organische Substanzen und etwas Kochsalz ab. Der Niederschlag setzt sich theilweise als Pfannenstein fest an, theils wird er entfernt. Sobald die Ausscheidung des Kochsalzes stattfindet, beginnt das Soggen; hier wird die Temperatur bis auf 75 bis 90° C. gemildert, um das Salz in grobkörnigen Krystallen zu erhalten.

Gegen das Ende der Operation aber wird die Hitze wieder gesteigert, um das Ausscheiden der fremden Salze zu verhindern und um die des Kochsalzes selbst zu erleichtern. Das Kochsalz fällt nach und nach auf den Boden der Pfanne nieder; es wird über den Pfannen aufgeschüttet, damit die Mutterlauge in die Pfannen zurückfließt. Zuletzt wird es in erwärmten Räumen getrocknet.

Der Pfannenstein, so wie überhaupt der während des Störens sich absetzende Niederschlag wird oft auf schwefelsaures Natron verarbeitet. Aus der Mutterlauge sucht man Kalisalze, schwefelsaure Magnesia darzustellen oder man verarbeitet sie zu Düng- und Viehsalz.

Um das Düng- und Viehsalz, die zu billigeren Preisen verkauft werden, zu anderen Zwecken untauglich zu machen, werden sie mit geeigneten Zusätzen vermischt. Zu dem Viehsalz nimmt man auch das beim Stören abfallende unreine Salz. Wackenroder hat einige Sorten Viehsalz untersucht, deren Analysen wir zusammenstellen.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Chlornatrium	95,83	95,45	95,73	87,29	83,03	88,77
Schwefelsaures Natron	„	0,48	„	4,41	7,07	3,28

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Schwefelsaurer Kalk	1,40	1,08	1,37	1,68	4,19	1,94
Chlorcalcium	0,27	=	0,47	=	=	=
Chlormagnesium	=	0,07	0 06	0,76	0,28	0,64
Wasser	1,71	1,92	0,94	1,95	1,75	1,48
Pflanzentheile	0,59	0,75	0,79	0,33	0,75	0,96
Unlösliche Substanzen (Sand, Eisenoxyd, Kalk und Thonerde)	0,20	0,25	0,64	3,58	2,93	2,74.

Auf Jod und Brom wird die Mutterlauge theilweise auch verarbeitet, oder sie dient auch, theils flüssig an Ort und Stelle, theils abgedampft, wodurch der Transport erleichtert wird, zur Verstärkung der Soolbäder, wozu namentlich schwächere Salzsoolen benutzt werden. Letztere gebraucht man auch als Trinkquellen und hat in neuerer Zeit angefangen (zu Kösen, Wittekind bei Halle) die zum Trinken bestimmte Soole mit Kohlensäure zu imprägniren, wodurch der Geschmack bedeutend verbessert wird. Die Zusammensetzung der Mutterlaugen ist eben so verschieden wie die der Salzsoolen. Wir stellen die Analysen einiger Mutterlaugen in nachstehender Tabelle zusammen.

	Schwäbisch Hall Spec. Gew. 1,205	Friedrichshall Spec. Gew. 1,202	Rosenheim Spec. Gew. 1,234	Schönebeck Spec. Gew. 1,276
Chlornatrium	25,83	24,49	18,06	15,05
Bromnatrium	=	0,02	0,12	=
Schwefelsaures Natron . .	0,002	=	=	=
Schwefelsaures Kali . .	=	=	=	5,35
Chlorkalium.	=	=	0,57	=
Chlormagnesium . . .	=	0,52	5,58	7,20
Schwefelsaurer Kalk . .	0,41	0,42	=	=
Schwefelsaure Bittererde .	0,07	=	0,99	3,52
Chlornatrium	=	0,23	=	=

Das Kochsalz ist nicht immer ganz rein. Durch die Beimengung von Chlorcalcium und Chlormagnesium bekommt das Kochsalz die unangenehme Eigenschaft an der Luft zu zerfließen, und außerdem auch einen scharfen, unangenehmen Beigeschmack. Deshalb versucht man auch das Chlormagnesium während des Abdampfens zu entfernen. Nach der Angabe von Berthier setzt man der Soole so viel gelöschten Kalk zu, als zu der Zersetzung des Chlormagnesium erforderlich ist. Das Verhältniß dieses Zusatzes ist vorher genau zu ermitteln. Beim Eindampfen zersetzt sich dann das gebildete Chlorcalcium mit dem vorhandenen schwefelsauren Natron zu Gyps und Kochsalz; der erstere scheidet sich dann ab.

Zusammenstellung einiger Analysen von Kochsalz, wie es von verschiedenen Salinen in den Handel gebracht wird.

	Schönebeck	Sulz	Ludwigshall	Königsbronn	Schwäbisch Hall	Friedrichshall	Chateau Salins	Moutier
Kochsalz	93,9	96,88	99,45	95,90	98,90	97,48	97,82	98,67
Chlormagnesium	0,3	3,12	=	=	=	=	2,12	0,18
Chlorcalcium	=	=	=	0,27	=	=	=	=
Schwefelsaures Natron . . .	1,0	=	0,05	=	0,005	0,03	=	0,75
Schwefelsaure Magnesia . . .	=	=	=	=	=	=	=	0,40
Schwefelsaurer Kalk	0,8	=	0,28	1,10	0,49	0,69	=	=
Kohlensaurer Kalk	=	=	=	=	0,005	0,003	=	=

Die Gewinnung des Kochsalzes aus dem Meerwasser wird zumeist nur da betrieben, wo die Abdampfung ohne Anwendung künstlicher Wärme vor sich gehen kann; also nur in den südlichen Ländern, wo auf eine anhaltende und bedeutende Sonnenwärme und namentlich auf warme Winde sicher zu rechnen ist. Zudem ersehen wir aus der nachstehenden Zusammenstellung, daß das Meerwasser in südlichen Gegenden mehr Kochsalz enthält als in nördlichen.

	Firt of Forth	Nordsee	Helgoland	Mittelländisches Meer	Atlantischer Ocean
Chlornatrium	2,468	2,484	2,358	2,722	2,500
Chlormagnesium	0,240	0,242	0,277	0,614	0,350
Chlorkalium	=	0,135	0,101	0,001	=
Schwefelsaurer Kalk . . .	0,096	0,120	0,118	0,015	0,001
Schwefelsaure Magnesia . .	0,214	0,206	0,199	0,700	0,580
Kohlensaure Kalk-Talkerde .	=	=	=	0,20	0,02

In den wärmeren Gegenden legt man dicht am Gestade des Meeres, wo möglich unter dem Spiegel desselben, die sogenannten Salzgärten an. Dies sind flache, mit Thon ausgelegte Bassins von einer bedeutenden Ausdehnung, die in viele kleine Abtheilungen abgetheilt sind, durch welche das Meerwasser nach und nach mit einer geringen Geschwindigkeit, die man zudem noch reguliren kann, hindurch passirt, bis endlich in der letzten das Salz krystallisirt. Diese Gärten stehen mit dem Meer durch einen Canal und eine Schleuse, welche den Zufluß des Meerwassers regelt, in Verbindung; befinden sich aber diese natürlichen Abdampfpfannen über der Oberfläche des Meeres, so wird entweder das Wasser hineingepumpt oder man wartet die Fluth ab. Das krystallisirte Salz wird an dem Gestade aufgeschichtet und einige Zeit der Einwirkung der Luft überlassen, damit das reichlich darin enthaltene Chlormagnesium zerfließt und abtropft. Nach Balard wurden auf einer Saline auf einer Fläche von 783 Morgen 388,730 Ctr. Seesalz producirt und

hierbei ungefähr 25,871,852 Kubikfuß Wasser im Laufe eines Sommers verdampft. Die Gesammtfläche der französischen Salzgärten beläuft sich auf 2,17 Quadrat-Meilen. — An einigen Orten gradirt man das Meerwasser auch oder man braucht es als Lösungsmittel für unreines Steinsalz. In den kalten Gegenden, z. B. an den Gestaden des weißen Meeres, concentrirt man das Seewasser durch Gefrieren. Durch die Entfernung des Eises gewinnt man so reichhaltige Sorten, daß man sie künstlich ohne zu große Kosten eindampfen kann *).

Außerdem giebt es aber auch einige Landseen, deren Wasser bedeutende Mengen Kochsalz enthält, so daß dasselbe daraus dargestellt wird. Einige, wie z. B. die auf der Halbinsel Abscheron am kaspischen Meer, der Eltonsee in der Kirgisensteppe, der rothe See bei Perekop in der Krimm enthalten 13 bis 18 Proc. Kochsalz, andere, wie z. B. der Stepanowsee und der Inderskische See sogar bis 24 Proc. Auf dem Boden einiger dieser Seen befinden sich bedeutende Ablagerungen von Kochsalz, das einfach durch Brechen gewonnen wird, wie dies z. B. beim Eltonsee der Fall ist, der nach Göbel 1832 ungefähr 1 Mill. Ctr. Kochsalz lieferte.

Die nachstehende Zusammenstellung lehrt, daß das Seesalz oft fast eben so rein ist, wie das Salz aus den Soolen.

	St. Ubes			Figueras	Lymington	
	Erste Sorte	Zweite Sorte	Dritte Sorte		Erste Sorte	Zweite Sorte
Chlornatrium . . .	95,19	89,19	80,09	91,14	98,80	93,70
Chlormagnesium . .	"	"	"	0,70	0,50	1,10
Schwefelsaure Magnesia	1,69	6,20	7,27	3,54	0,50	3,50
Schwefelsaurer Kalk .	0,56	0,81	3,57	0,33	0,10	1,50
Wasser	2,45	3,60	8,36	4,20	"	"
Thon	"	0,20	0,20	"	0,10	0,20

Das Chlornatrium findet sich sehr häufig im festen Zustande, als Steinsalz, in verschiedenen Formationen, besonders in Flötzgebirgen als Glied der Muschelkalkformation. Die berühmtesten Lager sind die von Wieliczka und Bochnia in Galizien, 1200′ mächtig. Ferner findet sich ein ausgedehntes Lager in Oberösterreich, das sich bis nach Steiermark und Salzburg hinzieht. Eine dritte große Ablagerung ist in Würtemberg aufgefunden und bereits an verschiedenen Orten aufgeschlossen. Auch in Norddeutschland hat man an verschiedenen Stellen reiche Salzlager erbohrt. Besonders reich an Steinsalz hat sich hier die Gegend zwischen Erfurt und Gotha gezeigt. Bei Stotternheim und Buffleben ist dasselbe im

*) Ausführliche Angaben über die oben berührte weitere Verarbeitung der Mutterlaugen, wie sie nach Balard in Frankreich betrieben wird, findet man in Regnault's Cours élementaire de chimie. 3. édition. T. II. p. 195. Ueber die technischen Details der Kochsalzfabrikation überhaupt vergleiche man Schubarth's technische Chemie, Karmarsch und Heeren's techn. Wörterbuch und Knapp's Lehrbuch der chemischen Technologie.

Muschelkalk angetroffen. Bei Artern ist es in einer Tiefe von 986' in dem der Zechsteinformation angehörigen Gypse aufgefunden. Große Aufmerksamkeit erregte das sogenannte Magdeburg-Halberstädter Becken, die Gegend zwischen dem Alvenslebener Höhenzuge und dem Harze. Zieht man bei Betrachtung der geologischen Verhältnisse den fast im ganzen Becken vorherrschenden Reichthum an mehr oder minder reichhaltigen Soolquellen in Erwägung, so muß man zu der Erkenntniß kommen, daß dieses Becken besonders construirt sei zur Bildung und Ablagerung des Steinsalzes, zumal die größern Steinsalzlager in Deutschland, Frankreich und England stets unter ähnlichen Verhältnissen aufgefunden worden sind. Durch die glücklichen Erfolge in Süddeutschland aufgemuntert, entschloß man sich auch hier zu bohren. In der Nähe der Saline Schöningen eröffnete man die Versuche Anfangs 1845 und schon 1847 gelangen sie vollständig. Bei Staßfurt fing man 1839 an, ein Bohrloch niederzustoßen. In einer Tiefe von $826^1/_2$ Fuß fand man ein Steinsalzlager, dessen Mächtigkeit man bis 1851 bis auf 1025 Fuß ergründete, ohne das Liegende zu erreichen.

Mitunter ist das Steinsalz ganz weiß und sehr rein, mitunter aber auch durch mehr oder weniger Eisenoxyd und Thon roth, gelb oder blau gefärbt. Man gewinnt es entweder bergmännisch und zermalt das reinere auf Mühlen, während das unreine aufgelöst und versotten wird; oder man leitet Wasser in das Lager und verschafft sich so gesättigte Soolen. Das Steinsalz von einigen Fundorten hat die Eigenschaft zu decrepitiren, wenn es aufgelöst wird. Es findet sich nämlich fast reines Wasserstoffgas darin eingeschlossen; sobald die Wände der Höhlungen dünn geworden sind, werden sie auseinander gesprengt und das Gas entweicht.

Zusammenstellung einiger Analysen von Steinsalz.

	Schwäbisch Hall I.	Schwäbisch Hall II.	Chester	Rothes von Vic.	Erfurt	Cardona
Chlornatrium . . .	99,97	98,90	98,3	99,8	98,041	98,554
Chlorcalcium . . .	„	0,02	„	„	0,410	0,994
Chlormagnesium . .	„	„	0,05	„	0,063	0,013
Kohlensaurer Kalk . .	„	0,17	„	„	„	„
Schwefelsaurer Kalk .	0,02	0,16	0,65	„	1,486	0,439
Thon	0,01	0,59	1,00	„	„	„
Eisenoxyd	„	„	„	0,2	„	„

Die jährliche Production an Salz ist eine enorme, da dasselbe zu den unentbehrlichsten Lebensbedürfnissen gehört. Preußen stellte nach Schubarth von 1826 bis 1835 durchschnittlich jährlich über $2^1/_2$ Mill. Ctr. her, Würtemberg 719,145 Ctr. theils Stein-, theils Siedesalz, Oesterreich in seinen Küstenländern 734,000 Ctr. Seesalz, außerdem 3 Mill. Ctr. Stein- und 2 Mill. Ctr. Siedesalz. Deutschland bezieht noch eine große Menge Seesalz aus England und Portugal, wogegen es selbst Salz nach der Schweiz und den Niederlanden ausführt. Frankreich producirte 1834 fast gegen 7 Mill. Ctr. Seesalz und 291,545 Ctr. Stein- und Siedesalz.

Das Chlornatrium ist ein farbloses, oft durchsichtiges Salz, das in Würfeln krystallisirt. Beim raschen Abdampfen fallen die Krystalle sehr klein aus und gruppiren sich dann zu vierseitigen Pyramiden, die im Innern hohl sind. Die einzelnen Krystalle legen sich hierbei treppenförmig an einander. Die Kochsalzwürfel enthalten kein Krystallwasser; aber oft ist darin Wasser mechanisch eingeschlossen, besonders bei den großen Seesalzkrystallen. Daher kommt es, daß solche beim Erhitzen decrepitiren (verknistern), indem der Wasserdampf die Krystalle auseinander sprengt. Bei einer sehr niederen Temperatur (— 15° C.) schießen Krystalle von anderer Form an, die Wasser enthalten ($NaCl + 4HO$). Sie sind aber wenig beständig, da das Wasser schon bei — 10° C. fortgeht. In kaltem und heißem Wasser ist das Kochsalz fast gleich löslich; 100 Th. Wasser lösen 37 Th. Kochsalz, so daß also in einer gesättigten Lösung 27 Proc. Kochsalz enthalten sind. In der Rothglühhitze schmilzt das Chlornatrium und bei stärkerer Hitze ist es flüchtig.

Für das Leben ist das Salz von der größten Wichtigkeit, wie dies ja hinreichend bekannt ist. Man nimmt an, daß jeder Kopf durchschnittlich jährlich $12^1/_2$ bis 20 Pfund Salz verbraucht. Aber auch für die Gewerbthätigkeit hat es denselben Werth und daher ist es wenig vortheilhaft, daß das Salz ein Monopol der Regierungen ist. In der Industrie benutzt man das Kochsalz hauptsächlich zur Darstellung der Salzsäure und der Soda; außerdem zur Darstellung des Salmiaks, des Chlor, bei der Gewinnung des Silbers, in der Töpferei, Glasfabrikation, Gerberei, Seifensiederei und der Landwirthschaft.

Die Verbindungen des Natrium mit den anderen Elementen, wie Jod, Brom, Fluor, Schwefel ꝛc., sind denen des Kalium in der Zusammensetzung und den Eigenschaften so ähnlich, daß wir auf diese verweisen. Eben so sind auch die Natriumlegirungen von keiner besonderen Wichtigkeit.

Für die Erkennung des Natron haben wir nur wenige Mittel. Vor dem Löthrohr erkennt man die Gegenwart desselben sehr leicht an der gelben Farbe der Flamme. Diese Reaction ist so empfindlich, daß man sich hüten muß, die Stelle des Platindrahtes, auf der sich das zu untersuchende Salz befindet, mit den Händen anzufassen, weil in dem Schweiß geringe Mengen Natron enthalten sind. Von dem Kali unterscheidet man das Natron dadurch, daß es mit den Reagentien auf ersteres (Platinchlorid, Weinsteinsäure, Ueberchlorsäure, Pikrinsalpetersäure) keine unlöslichen Reagentien eingeht. Das einzige positive Erkennungsmittel für das Natron ist das metaantimonsaure Kali. Man darf sich desselben aber nur bedienen, wenn man sicher ist, daß eben nur noch Alkalien zugegen sind. Nach Wackenroder entsteht noch bei tausendfacher Verdünnung ein krystallinischer Niederschlag, dessen Abscheidung durch Schütteln beschleunigt wird. — Bei der quantitativen Bestimmung erforscht man die Gewichtsmenge der schwefelsauren Alkalien zusammen und bestimmt dann entweder die Gewichtsmenge des Kali oder der Schwefelsäure, woraus sich der Natrongehalt berechnen läßt. W. B.

Naturwissenschaft. Unter dem Worte Natur versteht man gewöhnlich (wenigstens zunächst) den Inbegriff aller sinnlich wahrnehmbaren Dinge. Die Körper, welche den Raum selbstständig erfüllen, sind charakterisirt durch bestimmte Gruppen sinnlicher Merkmale, nach denen man sie auch sondern und übersichtlich ordnen kann. Jedes sinnliche Merkmal eines Körpers bietet dem Wahrnehmenden eine besondere Erscheinung dar, die aber nicht immer dieselbe bleibt, sondern

einem Wechsel unterworfen ist, der sich überall zeigt, wo der Körper eine Veränderung erfährt. Diese letztere besteht nun häufig blos darin, daß zu den schon vorhandenen Merkmalen eines Körpers unter gewissen Umständen ein neues hinzutritt, so z. B. wenn irgend ein Körper in denjenigen Zustand geräth, welchen man den elektrischen nennt. Keins der sinnlichen Merkmale, welche der Körper sonst der Wahrnehmung darbietet, geht hierbei verloren, eben so wenig als wenn derselbe gewisse Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme zeigt. Anderseits kann aber ein Körper durch sein Zusammenkommen mit einem anderen manche seiner bisherigen Merkmale (dem Anscheine nach) ganz und gar verlieren; er kann sich mit dem zweiten, wie man sagt, chemisch verbinden, so daß beide ein gleichartiges Ganze darstellen, dessen Merkmale oder Eigenschaften sehr verschieden von denen der beiden Körper sind. Eine solche Veränderung nennt man eine chemische, die auch stattfindet, wenn ein Körper, der sich als ein gleichartiges Ganze darstellt, in zwei oder mehrere ungleichartige Bestandtheile zerfällt.

Die Natur befolgt nun im Gange ihrer Ereignisse, so mannichfaltig diese auch sein mögen, eine gewisse Gleichförmigkeit, Regelmäßigkeit, oder Gesetzlichkeit. Das Wort Gesetz bezeichnet aber hier im Allgemeinen die Gewißheit, daß Etwas unter gewissen Umständen so und nicht anders geschieht. Indessen läßt sich bei den meisten Naturerscheinungen ein Mehrfaches unterscheiden, zwischen dessen verschiedenen Gliedern eine constante Relation besteht, worin sich eben das Gesetzliche der Erscheinung ausspricht. So steht z. B. das Bestreben der atmosphärischen Luft, sich im Raume zu verbreiten (auszudehnen), nämlich ihre Expansivkraft in Beziehung zu ihrer Dichte oder zu ihrem Volumen, dergestalt, daß diese Expansivkraft, unter sonst gleichen Umständen, sich verhält direct wie die Dichte oder umgekehrt wie das Volumen. Dieses Gesetz, das unter dem Namen des Mariotte'schen bekannt ist, gilt auch für die übrigen gasförmigen Körper, so lange sie als wirkliche Gase bestehen oder je weiter sie noch von dem Punkte entfernt sind, bei welchem sie in den tropfbarflüssigen Zustand übergehen.

Zur Auffindung der Naturgesetze dient nun zunächst die Beobachtung, d. h. das aufmerksame Auffassen der Dinge und Ereignisse, wobei jedoch zu erinnern ist, daß das Gesetz häufig erst durch die Zusammenfassung und Vergleichung mehrerer und verschiedener Beobachtungen gewonnen wird. Eine bedeutende Erweiterung erfährt die Beobachtung durch den Versuch oder durch das Experiment, indem wir absichtlich die Körper so zusammenbringen, daß sie uns gewisse Erscheinungen darbieten, die dann jederzeit bald in derselben, bald in abgeänderter Weise Gegenstand unserer Beobachtung werden können. Die Versuche führen nicht allein zur Entdeckung von Gesetzen bereits bekannter Erscheinungen, sondern es ist auch durch sie unsere Kenntniß der Erscheinungen beträchtlich erweitert worden. So haben wir z. B. die mannichfachen Erscheinungen der Elektricität durch Versuche kennen gelernt, und sind durch diese allmälig zur Erkenntniß gelangt, daß die Elektricität, die ohne unser Zuthun nur in dem einen Falle des Gewitters auffällig zu Tage tritt, allenthalben in der Natur verbreitet und thätig ist. Die Versuche, welche man vermittelst künstlicher Vorrichtungen (Apparate) anstellt, erlauben uns, gewisse Erscheinungen unter veränderten Umständen zu beobachten, wodurch es möglich wird, dieselben nach allen ihren Beziehungen kennen zu lernen. Durch künstliche Experimente können wir nicht nur verschiedene Körper unter gewissen Umständen zusammenbringen, sondern auch Dinge und Erscheinungen,

welche uns die Natur zusammen darbietet, isoliren, was gleichfalls für die Erkenntniß der Natur von großer Bedeutung ist. Auf diese Weise hat man z. B. erkannt, daß von den beiden Hauptbestandtheilen der atmosphärischen Luft (Sauer- und Stickstoff) gerade der Sauerstoff zur Unterhaltung des Athmungsprocesses der thierischen Organismen eine nothwendige Bedingung ist. — Es versteht sich von selbst, daß Beobachtungen ohne künstliche Veranstaltungen den eigentlichen Versuchen vorausgingen und diese gewissermaßen einleiteten. So ging der Construction der Elektrisirmaschine die Wahrnehmung voraus, daß Bernstein und andere Körper durch Reiben elektrisch werden.

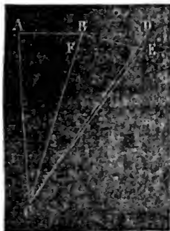
Wir bemerken und beobachten sehr häufig, daß ein bestimmtes Naturereigniß erst dann eintritt, nachdem demselben ein anderes vorausgegangen ist. Dieses erscheint als das Vorzeichen von jenem, welches erwartet wird, sobald das erstere sich der Wahrnehmung darbietet. Der wichtigste Schritt, der von hier aus gemacht werden kann, ist nun der, daß wir das Ereigniß als von Bedingungen abhängig erkennen, die wir für die Ursache desselben ansehen. Die Ableitung einer Naturerscheinung aus ihren Bedingungen ist die Erklärung derselben, und die Bedingungen heißen insofern auch Erklärungsgründe, die theils gegeben, theils unbekannt sein können. Besteht nun zwischen den gesuchten Bedingungen und den bekannten eine gewisse als giltig anzunehmende Beziehung, so lassen sich die zur vollständigen Erklärung der Erscheinung noch erforderlichen Bedingungen häufig durch ein analytisches Verfahren auffinden, gewissermaßen in ähnlicher Weise, wie eine unbekannte Größe, die mit bekannten durch eine Gleichung verknüpft ist, bestimmt wird. Und hiermit verbindet sich denn nicht selten diejenige Operation, welche unter dem Namen der inductiven Methode bekannt und in vielen Fällen mit Erfolg zur Aufstellung von Naturgesetzen und zur Auffindung von Erklärungsgründen gewisser Naturerscheinungen benutzt worden ist. Dieselbe schließt (logisch gesprochen) daraus, daß ein Prädicat B jedem einzelnen Glied des Umfanges seines Subjects A zukommt, daß es ein für den ganzen Umfang von A giltiges Prädicat sei. Ist nun der ganze Umfang von A wirklich gegeben, und von jedem Gliede desselben mittelbar oder unmittelbar gewiß, daß ihm B zukomme, so ist die Induction eine vollständige, bei welcher der Schlußsatz nur die Zusammenfassung aller Vordersätze ist. Wenn dagegen nicht der ganze Umfang des Subjects gegeben ist, so entsteht die unvollständige Induction, falls man das, was für die bekannten Glieder gilt, auch auf die unbekannten überträgt. In diesem Falle kommt dem Schlußsatze nur eine gewisse Wahrscheinlichkeit zu, und zwar eine um so höhere, je größer die Anzahl der Fälle ist, in denen B gilt, oder je kleiner der Theil des Umfanges (die Anzahl der möglichen Fälle) ist, für den B möglicherweise A nicht zukommt. Von dieser unvollständigen Induction wird auch im gemeinen Leben ein sehr häufiger, aber eben nicht behutsamer Gebrauch gemacht, und es beruht auf ihr überhaupt Alles, was man gewöhnlich Erfahrung nennt. Die Wahrscheinlichkeit der unvollständigen Induction kann jedoch in Gewißheit übergehen, wenn der Umfang von A nicht aus specifisch verschiedenen Arten, sondern nur aus gleichen Individuen besteht, oder wenn die Fälle, in denen A ist, nur als Wiederholungen einer und derselben Voraussetzung anzusehen sind *). Hierher

*) Vergl. Neue Darstellung der Logik nach ihren einfachsten Verhältnissen, mit Rücksicht auf Mathematik und Naturwissenschaft. Von M. W. Drobisch. Leipzig 1851 (2. Aufl.).

kann unter Anderem gerechnet werden die bestimmte Aussage von dem unausbleiblichen Eintreten gewisser physikalischer und chemischer Erscheinungen, wenn Körper derselben Art unter denselben Umständen zusammenkommen.

Kepler fand sein drittes Gesetz, „daß die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten sich wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne verhalten," durch eine vollständige Induction, nämlich durch Vergleichung der mittleren Abstände aller damals bekannten Planeten von der Sonne mit ihren Umlaufszeiten. Das Gesetz von der elliptischen Bahn der Planeten resultirte dagegen zunächst aus einer unvollständigen Induction, insofern Kepler aus dem Umlaufe eines und desselben Planeten, nämlich des Mars, auf die Umläufe aller übrigen schloß. Diese Induction wurde dann später vervollständigt. Auch war Kepler's Entdeckung, daß die Bahnen aller Planeten Ellipsen sind, nicht das Werk einer reinen Induction, insofern nämlich nicht, als noch für jeden Planeten ein deductiver Beweis nöthig war, daß die beobachteten Orte desselben genau in dem Umfange einer Ellipse liegen.

Nachdem Kepler den gesetzlichen Charakter der planetarischen Bewegungserscheinungen gefunden und in mathematischer Form ausgesprochen hatte, forschte Newton nach den mechanischen Bedingungen, von denen die Planetenbewegungen (nach den Kepler'schen Gesetzen) die nothwendige Folge sind. Die Planetenbahnen sind krumme Linien. Da nun aber eine krummlinige Bewegung nur unter der Voraussetzung einer stetig wirkenden Ursache möglich ist, die den bewegten Körper von der geradlinigen Richtung, nach welcher er, vermöge des Gesetzes der Trägheit, seine Bewegung fortzusetzen strebt, fortwährend ablenkt; so handelte es sich bei Lösung der Newton'schen Aufgabe um die Bestimmung der Richtung und Größe einer solchen bewegenden Kraft. Nach dem ersten Kepler'schen Gesetze sind die Planetenbahnen ebene Curven, deren Ebenen durch den Mittelpunkt der Sonne gehen; und die von dem letzteren zu den Planeten gehende gerade Linie (Radiusvector) beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume. Aus diesem Gesetze folgt nun nach analytischer Methode, daß die gesuchte Kraft stets nach dem Mittelpunkte der Sonne gerichtet sein muß. Es sei nämlich AB das Stück der Bahn, welches der Planet in einer sehr kleinen Zeit τ beschreibt. Wäre nun sonst keine Bewegungsursache vorhanden, so würde derselbe, wenn er in B angekommen ist, in dem nächsten Zeittheilchen τ den Theil BD der Verlängerung von AB (der = AB ist) beschreiben. Besteht aber ein Streben zur Bewegung nach dem Punkte C hin, so muß er sich in dem zweiten Zeittheilchen τ nach einem anderen Punkte E bewegen. Ist nun BF die Richtung jener Kraft, mit welcher der Planet am Ort B nach C hingetrieben wird, so kann man annehmen, daß sie während der sehr kleinen Zeit τ mit sich selbst parallel bleibe. Wenn aber C den festen Punkt bezeichnet, um welchen der Radiusvector (nach dem Kepler'schen Gesetze) Flächen beschreibt, die den Zeiten proportional sind, so werden die Dreiecke ACB und BCE, welche in zwei gleichen Zeitabschnitten beschrieben sind, gleich groß sein, eben so die Dreiecke ACB und BCD, weil ihre Grundlinien AB und BD gleich sind und in derselben Geraden liegen, und außerdem



ihre Spitzen in dem Punkte C zusammenfallen. Deshalb sind auch die Dreiecke BCD und BCE gleich groß, und da sie dieselbe Grundlinie haben, so muß die Gerade DE, welche ihre Spitzen verbindet, dieser Grundlinie parallel sein. Hieraus folgt nun, daß die Linie BF, die DE parallel ist, mit BC zusammenfällt. Daher ist in jedem Punkte B der Bahn die Richtung BF der beschleunigenden (nach C hintreibenden) Kraft die des entsprechenden Radiusvector, was zu beweisen war.

Aus dem zweiten Kepler'schen Gesetze, nach welchem die Planetenbahnen Ellipsen sind, in deren Einem Brennpunkte die Sonne steht, läßt sich folgern, daß für verschiedene Orte eines und desselben Planeten in seiner Bahn die Wirksamkeit jener bewegenden Ursache umgekehrt proportional dem Quadrate des veränderlichen Radiusvector, zugleich aber direct proportional dem Cubus seines mittleren Abstandes von der Sonne und umgekehrt proportional dem Quadrate seiner Umlaufszeit ist. Und dies, zusammengefaßt mit dem dritten Kepler'schen Gesetze, wonach die Cubi der mittleren Abstände der Planeten von der Sonne sich wie die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten, führt alsbald zu dem Schlusse, daß die Wirkung, welche die beschleunigende Ursache auf verschiedene Planeten ausübt, an jedem beliebigen Ort im umgekehrten Verhältniß mit dem Quadrat ihrer Radiivectores (oder ihrer Abstände von der Sonne) steht. Nun läßt sich auch umgekehrt aus der Annahme einer solchen nach dem Mittelpunkte der Sonne gerichteten und dem Quadrate der Abstände umgekehrt proportionalen Kraft darthun, daß die Planetenbewegung nach den Kepler'schen Gesetzen davon die nothwendige Folge ist.

Newton ging noch einen Schritt weiter, indem er die Gravitation als eine thatsächlich vorhandene Kraft nachzuweisen suchte. Die mittlere Bewegung des Mondes um die Erde geschieht nämlich gleichfalls nach dem ersten und zweiten Kepler'schen Gesetz, so daß also auch der Mond in seiner krummlinigen Bahn durch eine nach dem Mittelpunkte der Erde gerichtete, dem Quadrate seines Radiusvector umgekehrt proportionale Kraft erhalten wird. Zerlegt man aber die Bewegung des Mondes in eine tangentiale und centripetale, so läßt sich leicht der Raum bestimmen, durch welchen der Mond in einer Secunde oder Minute (in Folge jener Kraft) nach dem Mittelpunkte der Erde hin fällt. Die Schwere an der Erdoberfläche ist nun eine gegebene Kraft, deren Intensität theils durch Beobachtung über den Fall der Körper, theils durch Pendelversuche genau bekannt ist. Nimmt man nun an, daß die Schwere auch die Ursache sei, welche den Mond in seiner Bewegung um die Erde erhält, so wird dieselbe mit dem Quadrate der Entfernung abnehmen, und man kann dann, mit Rücksicht auf dieses Gesetz, aus dem bekannten Raume, welchen die Körper an der Erdoberfläche in der Zeiteinheit durchfallen, den Fallraum des Mondes (gegen die Erde hin) berechnen. Der so berechnete Fallraum ist bekanntlich eben so groß als der auf die obige Weise (durch eine Zerlegung der Mondsbewegung in eine tangentiale und centripetale) erhaltene, wodurch die Voraussetzung einer Identität der Schwere und der Ursache, welche den Mond in seiner Bewegung um die Erde erhält, bestätigt wird. Die Schwere an der Erdoberfläche ist hiernach nur ein besonderer Fall der Gravitation, d. h. des Bestrebens aller Körper im Weltraume, sich (nach einem bestimmten Gesetze) zu einander hinzubewegen.

Newton, der also das Gravitationsgesetz durch ein analytisches Ver-

jahren auffand, generalisirte dasselbe nach dem Grundsatze der unvollständigen Induction, nachdem er gezeigt hatte, daß dieses Gesetz für die Trabanten des Jupiters und des Saturn in Beziehung auf ihre Hauptplaneten, daß es für die Planeten in Beziehung auf die Sonne, und endlich, daß es für den Mond in Beziehung auf die Erde gelte. — Mit der Auffindung der mechanischen Bedingungen oder der Erklärungsgründe der Planetenbewegung fand aber zugleich eine Subsumption der Kepler'schen Gesetze unter ein allgemeineres Gesetz oder vielmehr unter zwei allgemeinere Gesetze, nämlich eine Subsumption derselben unter das Trägheits- und Gravitationsgesetz statt.

Gesetze, welche durch Beobachtung oder Versuche festgestellt sind, nennt man gewöhnlich empirische, wenn ihre Erklärungsgründe noch nicht gefunden sind, so daß man also noch nicht anzugeben weiß, warum sie stattfinden. So weiß man z. B., daß sich sauerstoffhaltige Körper am leichtesten in sauerstoffhaltigen Auflösungsmitteln, wie Sauerstoffsalze und Säuren in Wasser, auflösen, und daß Flüssigkeiten, welche viel Wasserstoff enthalten, wie Alkohol und Aether, die besten Auflösungsmittel für wasserstoffreiche Körper, z. B. für ätherische Oele, Fette und Harze sind. Diese Erfahrungen sind empirische Gesetze, so lange ihre Subsumption unter ein allgemeineres Gesetz noch nicht geschehen ist.

Die Erklärungsgründe einer Erscheinung werden häufig dadurch gefunden, daß man soweit als thunlich alle Umstände zusammenstellt, unter denen die Erscheinung eintritt und ausbleibt. Zu diesem Verfahren, das man ebenfalls als ein inductives betrachtet, bietet Well's Theorie vom Thau ein bekanntes Beispiel. Der Thau ist eine Erscheinung von Feuchtigkeit auf der Oberfläche von Körpern, die der Luft zu einer Zeit ausgesetzt sind, wo weder Regen noch sonst eine sichtbare Feuchtigkeit herabfällt. Allein nicht alle Körper bethauen gleich stark; schlechte Wärmeleiter im Allgemeinen mehr als gute. Und auch die Beschaffenheit der Oberfläche zeigt sich von Einfluß, insofern rauhe Oberflächen unter sonst gleichen Umständen stärker bethauen als glatte, polirte. Dies führt weiter zu dem Einfluß der Textur, so daß sich dichte, feste Stoffe, wie Steine, Metalle ꝛc., viel weniger als lockere Stoffe, z. B. Baumwolle, Pflanzen und dergleichen, mit Thau beschlagen. Nun sind diese Stoffe schlechtere Wärmeleiter als jene, ein Unterschied, der bereits als bedeutungsvoll für die Thaubildung erkannt ist. Das nächste Resultat ist nun, daß alle Körper von der angegebenen Beschaffenheit (in Bezug auf Substanz, Oberfläche und Textur) die reichlichste Thaubildung verrathen, insofern sie stärker als andere Körper unter die Temperatur der umgebenden Luft erkalten, was besonders in windstillen und heiteren Nächten der Fall ist. Die Bedingung der Thaubildung ist also die Kälte der betreffenden Körper, und diese Bedingung läßt sich wieder auf die Gesetze der Wärmestrahlung zurückführen, nach welchen vorzugsweise Körper von der angegebenen Beschaffenheit (in wolkenlosen Nächten) an ihrer Oberfläche erkalten. Weiß man nun ferner, daß die atmosphärische Luft zu jeder Zeit Wasserdampf enthält, der bei einer gewissen Temperaturerniedrigung theilweise tropfbar flüssig werden muß, so ist die Erscheinung des Thaues auf ihre Bedingungen zurückgeführt und erklärt. Kennt man aber einmal die Gesetze der Wärme und die davon abhängenden Gesetze der Dampfbildung, so läßt sich hieraus die Erscheinung des Thaues vollständig ableiten (deduciren). Denn man weiß dann, daß die Luft bei jeder Temperatur nur eine bestimmte Quantität von Wasserdampf in sich aufnehmen kann, die um so größer sein wird, je höher die

Temperatur der Luft ist. Enthält nun die letztere bei einer gewissen Temperatur so viel Wasserdampf, als sie bei dieser Temperatur überhaupt in sich aufnehmen kann, d. h. ist sie mit Wasserdampf gesättigt, so wird durch eine Erniedrigung der Temperatur ein Theil des Dampfes zu Wasser condensirt werden müssen. Und auch dann, wenn die Luft noch nicht mit Wasserdampf gesättigt ist, kann sie doch durch Erkaltung (bis zu einem gewissen Temperaturgrade) in den Zustand der Sättigung gerathen, so daß ihr Dampf bei einer ferneren Temperaturerniedrigung theilweise zu Wasser werden muß. Dies kann geschehen, wenn die Luft in Berührung mit Körpern steht, welche durch Ausstrahlung ihrer Wärme bis zu einem gewissen Grade erkaltet sind. Auf Grund derselben Gesetze läßt sich nun auch weiter bestimmen, unter welchen Umständen die Thaubildung am reichlichsten, und unter welchen Umständen sie gar nicht eintreten wird.

Als Beispiel, wie die Ursachen gewisser Naturerscheinungen durch eine Zusammenstellung bekannter Thatsachen (oder Erscheinungen) aufgefunden werden können, diene die Verschiedenheit der klimatischen Verhältnisse auf der Erdoberfläche. Wäre die letztere durchweg von homogener Beschaffenheit, so würde das Klima einer Gegend durch ihre Entfernung vom Aequator bedingt sein, da zufolge des Stellungsverhältnisses der Erde zur Sonne das Gesetz gilt, daß die Temperatur der Erdoberfläche abnehmen muß, wie die Entfernung vom Aequator zunimmt. Nun findet aber eine solche gleichförmige Beschaffenheit der Erdoberfläche nicht statt, sondern es finden sich mancherlei Ungleichheiten vor, welche die Temperatur eines bestimmten Landes erhöhen oder erniedrigen können. Vergleicht man nun die klimatischen Verhältnisse verschiedener Orte oder Länder mit einander, so kommt es darauf an, alle diejenigen Umstände zusammenzustellen, durch welche die Temperatur derselben erhöht oder erniedrigt wird. Hierher gehören als wichtige Momente: Die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser, wodurch eine eben so ungleiche Wärmevertheilung bewirkt wird (wie man findet, wenn man das ungleiche Verhalten von Land und Wasser zur Wärme berücksichtigt), dann die Richtung der Luft- und Meeresströmungen, welche wieder mit der ungleichen Vertheilung von Land und Wasser in Beziehung steht, die Höhe und Richtung der Gebirgszüge, die Erhebung über das Niveau des Meeres, die Beschaffenheit des Bodens, das Vorkommen von Wäldern, Morästen und Sümpfen 2c.

Eine solche Combination von Thatsachen ist nicht in allen Fällen von der Art, daß sie zur vollständigen Erklärung der betreffenden Erscheinungen dienen könnte, sondern es wird dadurch öfter nur eine gewisse Abhängigkeit irgend einer Erscheinung von anderen Erscheinungen, oder auch Etwas nur als Thatsache festgestellt. Das oben angedeutete Verfahren, welches man anwandte, um die Bedingungen der Thaubildung zu finden, führte im Grunde auch nur zu der Thatsache, daß die Oberflächen der Körper, auf denen der Thau entsteht, kälter als die umgebende Luft sind. Die Kälte dieser Körper ist hiernach eine nothwendige Bedingung des Thaues, allein die Erscheinung des letzteren läßt sich hieraus noch nicht vollständig ableiten oder erklären, sondern es gehört dazu noch die Kenntniß von der Anwesenheit des Wasserdampfes in der Luft und die Kenntniß von den Gesetzen seiner Condensation.

Zur Feststellung neuer Thatsachen ist die Isolirung der Erscheinungen (durch das Experiment oder auf andere Weise) nicht selten von großer Bedeutung. Wenn man bei dem Auftreten einer complexen Erscheinung alle

diejenigen Factoren, deren gesetzliches Verhalten bereits bekannt ist, isolirt oder in Abzug bringt, so wird häufig etwas übrig bleiben, was auf eine neue constante Relation hindeutet. Arago beobachtete, daß eine schwingende Magnetnadel über einer Metallplatte eher zur Ruhe kommt, als wenn dieselbe unter sonst gleichen Umständen ganz frei in der Luft schwebt. Daß nun hier ein verzögernder Einfluß von Seiten der Metallplatte stattfindet, wurde als Thatsache dadurch festgestellt, daß man die bekannten Widerstände der Luft und des Fadens, an dem die Nadel aufgehängt war, in Abzug brachte. Später wurde dann die so festgestellte Beziehung zwischen der schwingenden Magnetnadel und der Metallplatte unter die Gesetze der Inductionselektricität subsumirt, nach welchen der Magnetismus in benachbarten Leitern elektrische Ströme erregt, vermittelst deren eine bestimmte mechanische Wechselwirkung zwischen dem inducirenden Magneten und dem betreffenden Leiter entsteht.

Obwohl es nun keinem Zweifel unterliegt, daß Beobachtungen und Versuche die nothwendige Grundlage der exacten Naturwissenschaft sind, so ist es doch eben so sicher als klar, daß diese Wissenschaft selbst ohne gewisse Denkoperationen weder Anfang noch Fortgang hätte gewinnen können. Ist irgend eine Erscheinung durch Beobachtungen und Versuche festgestellt, so kommt es darauf an, daß durch ein Denken, welches sich auf die Resultate dieser Beobachtungen und Versuche stützt, die Bedingungen jener Erscheinung aufgefunden werden. Dies kann nun, wie wir oben angedeutet haben, durch die analytische und inductive Methode geschehen. Alsdann ist es erforderlich, die gegebene Erscheinung (nach ihrem gesetzlichen Verhalten) aus den gefundenen Bedingungen abzuleiten oder zu erklären. So wurden, um wieder an ein bekanntes Beispiel zu erinnern, die mechanischen Bedingungen der Planetenbewegung durch ein analytisches und inductives Verfahren gefunden. Dies führte zum Gravitationsgesetz, aus dem sich sowohl die Planetenbewegung nach den Kepler'schen Gesetzen, als auch die Abweichung der Planeten von ihrer mittleren elliptischen Bahn, nämlich die sogenannten Störungen, und sogar die Bewegungen der Kometen und Doppelsterne erklären lassen.

Wenn aus einer Erscheinung als einer bedingten ihre fehlenden Bedingungen abgeleitet werden können, so wird dadurch jene zum Erkenntnißgrund ihrer Erklärungsgründe, die im Denken aus ihr folgen, während die Erscheinung selbst als wirkliche die nothwendige Folge ihrer wirklichen, durch Denken aber erkannten Bedingungen ist. Lassen sich nun die Bedingungen einer Erscheinung als etwas thatsächlich Vorhandenes nachweisen (wie z. B. bei der Planetenbewegung die Gravitation; beim Thau die Kälte und Condensation des Wasserdampfes), so bilden diese Bedingungen eine sogenannte vera causa. Insofern aber eine derartige Ursache wieder den Charakter einer Erscheinung an sich trägt, regt sie auch wieder die Frage nach ihren Bedingungen auf. Die Kälte und die Condensation des Wasserdampfes sind gesetzmäßig auftretende Erscheinungen, die eben so sehr als die Erscheinung des Thaues eine Erklärung erfordern, d. h. eine Angabe der Bedingungen, aus denen sie abgeleitet werden können. Man weiß zwar, unter welchen Umständen Kälte und Condensation des Dampfes eintreten, aber die eigentliche Art und Weise des Ueberganges der dampfförmigen Flüssigkeit in die tropfbare ist damit noch nicht erkannt. Die Erklärung dieses Vorganges erfordert die Erkenntniß von den Bedingungen (Ursache) der Wärmeerscheinungen, deren gesetzliches Verhalten empirisch gegeben ist. So sind auch die verschiedenen äußeren Bedin-

gungen oder Veranlassungen, unter welchen die elektrischen Erscheinungen auftreten, bekannt, allein neben diesen Bedingungen müssen noch andere existiren, aus welchen jene Erscheinungen abzuleiten sind. Insofern also die Bedingungen gewisser Erscheinungen selbst wieder bedingt sind, entstehen Reihen von Bedingungen und Bedingten. Die Frage nun, wie weit man in diesen Reihen aufsteigen könne, wird am besten durch die fortgesetzte Untersuchung beantwortet. Gewisse Grenzen giebt es hier ohne Zweifel, aber subjective Beschränktheit darf nicht der Wissenschaft Grenzpfeiler aufstellen wollen.

In den Fällen nun, wo die Erklärungsgründe einer Erscheinung (oder einer Gruppe von Erscheinungen) nicht methodisch aus dem Gegebenen abgeleitet werden können, lassen sich gewisse Erklärungsgründe annehmen, um aus ihnen die betreffenden Erscheinungen abzuleiten. Eine solche zur Erklärung der Erscheinungen angenommene Voraussetzung heißt Hypothese. Eine Hypothese darf mit keiner anerkannten Thatsache in Widerspruch stehen, muß auch in sich selbst widerspruchslos sein und sich durch ihre Fruchtbarkeit bewähren. Die Wahrscheinlichkeit, die ihr zukommt, ist um so höher zu schätzen, je größer die Anzahl der Thatsachen ist, die sie zu erklären vermag. Auch kann man von ihr noch verlangen, daß sie einfach sei und eine einfache Ableitung der Erscheinungen zulasse, da die genauere Erforschung der Natur den Satz evident gemacht hat, daß aus der Verknüpfung einer verhältnißmäßig geringen Anzahl von Bedingungen doch eine große Fülle und Mannichfaltigkeit von Erscheinungen hervorgehen kann. Daher auch der Grundsatz: zur Erklärung der Naturerscheinungen niemals mehr Ursachen anzunehmen, als unumgänglich nothwendig ist. Daraus folgt jedoch nicht, daß man unvorsichtiger und übereilter Weise verschiedenartige Klassen von Erscheinungen, wenn sie auch mancherlei gemeinsam haben, aus demselben Princip ableiten soll. Gewiß darf aber eine Hypothese im Verlauf der Untersuchung nicht Zusätze nach Belieben erhalten, um ihren Mangel an Erklärungsfähigkeit oder ihre sonstigen Blößen zu decken. Liegen verschiedene, an und für sich gleichberechtigte, und sonst beachtenswerthe Hypothesen mit einander im Streit, so kommt es darauf an, sie nach ihren äußersten Consequenzen darzustellen. Der Streit wird sich dann, falls die zu erklärenden Erscheinungen in genügender Anzahl als festbegründete Thatsachen vorliegen, zu Gunsten der einen oder anderen Ansicht entscheiden müssen. Gelingt es, aus einer Hypothese die sämmtlichen (zu einer Klasse gehörigen) Erscheinungen abzuleiten, und zwar, wenn sie bestimmte quantitative Beziehungen darbieten, nach Zahl und Maß, so hat die Hypothese das Mögliche geleistet. Vermag dieselbe nun gar noch manche vorher unbekannte Erscheinungen vorauszusagen, wie z. B. die Undulationshypothese die conische Refraction des Lichts rc., Erscheinungen, die dann durch den Versuch bestätigt wurden, so bietet dies auf den ersten Blick viel Ueberraschendes; allein bei genauerer Erwägung erkennt man leicht, daß die einer solchen Hypothese eigenthümliche Evidenz im Grunde noch eben so groß sein würde, wenn sie die vorausgesagten Erscheinungen als schon bekannte vollständig erklärt hätte. Die Folgerungen aus der Hypothese müssen zur Ableitung aller Erscheinungen dienen, welche zu derselben Klasse gehören; man muß vermittelst der Hypothese vollständig anzugeben wissen, was unter diesen oder jenen Umständen geschehen wird. Ob nun die letzteren schon anderweitig bekannt sind oder erst durch die Hypothese selbst angenommen werden, kann für die Beurtheilung des Werthes der Hypothese von keiner wesentlichen Bedeutung sein.

Die beste Bewährung einer Hypothese bleibt immer der Grad der inneren Uebereinstimmung ihrer Folgerungen mit der Gesammtheit der gegebenen Thatsachen, im Allgemeinen, wie im Besonderen.

Das Fluidum, welches man unter dem Namen des Aethers als Erklärungsgrund der Lichterscheinungen voraussetzt, kann nicht Gegenstand der sinnlichen Wahrnehmung sein; derselbe kann, als Bedingung des Sehens, nicht selbst gesehen werden. Dasselbe gilt gewissermaßen von dem elektrischen Fluidum. Auch die elektrischen Erscheinungen lassen sich durch die Annahme besonderer Elemente, die mit den Massentheilchen der Materie in Wechselwirkung stehen, und unter den Begriff des Aethers fallen, begreiflich machen. Um sich nun von der Existenz eines Aethers zu überzeugen, ist es nicht nöthig, daß derselbe zu einem Gegenstande sinnlicher Wahrnehmung gemacht werde, sondern es würde genügen, wenn er durch Schlüsse als etwas Thatsächliches nachgewiesen werden könnte. So lange dies nicht geschehen ist, wird freilich die Einsicht, welche die Annahme des Aethers in Bezug auf den Ursprung und den Zusammenhang der betreffenden Erscheinungen gewährt, einen gewissen hypothetischen Charakter behalten. Läßt sich dagegen aus der empirischen Beschaffenheit der hierher gehörigen Erscheinungen: des Lichts, der Wärme und der Elektricität, die Existenz eines Aethers aufzeigen oder auch nur wahrscheinlich machen, so werden, gemäß dem Grade dieser Wahrscheinlichkeit, die betreffenden Schlußfolgerungen sich vom Gebiete des Hypothetischen entfernen. Auch würde, wie man leicht erkennt, schon sehr viel gewonnen sein, wenn sich nachweisen ließe, daß keine andere Ursache, welche von der Existenz des Aethers absieht, jene Erscheinungen hervorgebracht haben könnte. In diesem und jenem Sinne läßt sich nun allerdings manches leisten, um die Existenz des Aethers bis zu einem hohen Grade der Wahrscheinlichkeit zu bringen, ganz abgesehen davon, daß seine Annahme geeignet ist, die betreffenden Erscheinungen in ihrem inneren Zusammenhange zu erklären. Allein selbst in dem Falle, wo keine Hoffnung vorhanden ist, eine Hypothese wenigstens annäherungsweise als eine vera causa darzustellen, kann dieselbe immerhin noch nützlich sein. Eine jede Hypothese, bemerkt Hartley, welche so viel Schein von Wahrheit besitzt, um eine bedeutende Anzahl von Thatsachen zu erklären, hilft uns, diese Thatsachen in der gehörigen Ordnung verstehen, vielleicht auch neue entdecken, und experimenta crucis für künftige Forscher zu machen.

Als ein Mittel zur Naturforschung dient noch die Analogie, welche z. B. da vorkommt, wo man von ähnlichen Ursachen auf ähnliche Wirkungen oder umgekehrt von diesen auf jene schließt. Wir schließen nach Analogie, daß die Thiere durch ihre Sinne ähnliche Empfindungen erhalten als die Menschen, und daß den organischen Functionen, welche Versuche an lebenden Thieren nachweisen, die Functionen der ähnlichen Organe im menschlichen Körper entsprechen. Man kann im Allgemeinen sagen, daß, wenn ein Ding oder Ereigniß A in einer oder mehreren Eigenschaften einem anderen B gleicht, es diesem auch in gewissen anderen Eigenschaften gleichen werde. Je größer nun die Aehnlichkeit von A und B, d. h. je größer die Anzahl ihrer gemeinsamen wesentlichen Merkmale, oder je kleiner die Anzahl der unterscheidenden Merkmale ist, desto größer die Wahrscheinlichkeit, daß ein Merkmal, das A zukommt, auch B zukommen wird, oder auch desto größer die Wahrscheinlichkeit, daß zu B ein Merkmal gehört, das zu ihm, wo nicht in dem gleichen, doch in einem ähnlichen Verhältniß stehe wie ein gewisses anderes

Merkmal zu A *). Der Mond z. B. hat mancherlei Eigenschaften mit unserer Erde gemein; er ist, obgleich kleiner als diese, ein fester, dunkler, kugelförmiger Körper, dreht sich um seine Axe, und bewegt sich um die Sonne, von der er Licht und wohl auch Wärme empfängt. Dagegen hat derselbe keine Atmosphäre, die dicht genug ist, um das Licht zu brechen, keine Wolken und demnach auch kein Wasser. Da also der Mond, ungeachtet seiner sonstigen großen Aehnlichkeit mit der Erde, sich darin von ihr unterscheidet, daß ihm eine unentbehrliche Bedingung des organischen Lebens abgeht, so schließen wir daraus, daß auf seiner Oberfläche Organismen, gleich denen auf der Erde, nicht vorhanden sein können. Für diejenigen Planeten dagegen, welche (wie Mars und Jupiter) auch darin noch mit der Erde übereinstimmen, daß sie eine Atmosphäre mit Wolkenbildung verrathen, ist eine etwas größere Wahrscheinlichkeit vorhanden, daß sie stellenweise von ähnlichen Organismen, wie die auf der Erde, bewohnt sind. Der Schluß nach Analogie, obschon in vielen Fällen unerläßlich und von unverkennbarem Werthe, ist da ohne Bedeutung, wo schwache Aehnlichkeiten hervorgehoben und starke Gegensätze unbeachtet gelassen werden.

Endlich bietet sich noch die Hülfe der **Mathematik** zur Erforschung des gesetzlichen Verhaltens der Naturerscheinungen und zur Ableitung derselben aus ihren Bedingungen dar. Das Bedürfniß der Mathematik als eines Hülfsmittels der Naturforschung macht sich da sehr bald geltend, wo das Gesetz einer Naturerscheinung sich in mathematischer Form aussprechen läßt. Schon die Kürze und Uebersichtlichkeit der mathematischen Zeichen gewährt hier Vortheile. Sind aber bei einer Erscheinung (oder bei einer Klasse von Erscheinungen) mehrere constante Relationen in mathematischer Form gegeben, so lassen sich dieselben durch Combination, mit Hülfe bekannter mathematischer Operationen, zur Auffindung neuer Relationen benutzen, wozu die Physik in fast allen ihren Theilen eine Menge von Beispielen liefert. Der Nutzen und die Unentbehrlichkeit der Mathematik zeigt sich namentlich in der Erforschung der Bewegungserscheinungen, die so häufig und mannichfach Gegenstand der Physik sind. Eine jede Bewegung läßt sich durch eine mathematisch bestimmbare Beziehung zwischen Raum und Zeit charakterisiren, so daß dann die Mathematik mit Berücksichtigung gewisser aus der Erfahrung abstrahirter Grundgesetze eine Menge von Erscheinungen abzuleiten weiß, die der Wirklichkeit entsprechen und auch durch die Erfahrung bestätigt werden können. Die Anwendung der Mathematik findet dagegen große Schwierigkeiten und dem Anscheine nach selbst unübersteigliche Hindernisse, wenn die Complication der Umstände oder die Anzahl der Factoren bei Hervorbringung einer Erscheinung sehr groß ist, und zwar so, daß dabei eine Isolirung dieser verschiedenartigen Umstände nicht wohl möglich ist. In vielen Theilen der Physik lassen sich die Erscheinungen, welche zu einer complexen Erscheinung zusammentreffen, oder die verschiedenartigen Factoren bei einer und derselben Erscheinung von einander isoliren, so daß man jede Erscheinung oder jeden Umstand für sich mit Hülfe mathematischer Operationen verfolgen kann. In einem solchen Falle läßt sich dann auch der Effect, der aus dem Zusammentreffen dieser verschiedenen Erscheinungen resultirt, mathematisch bestimmen. So bestimmte man, um ein einfaches Beispiel vorzuführen, die Fall- und Wurfbewegung der Körper zunächst nach den Kräften, durch die sie hervorgebracht werden,

*) Vergl. Drobisch, Logik rc. S. 182 ff.

ohne Rücksicht auf mögliche Hindernisse. Man fand, daß die fallenden Körper eine gleichförmig beschleunigte Bewegung annehmen müssen, sofern der Schwere kein Widerstand entgegenwirkt. Als dies bekannt war, ließ sich auch die Abänderung einer derartigen Bewegung durch ein widerstehendes Mittel bestimmen. Die in der atmosphärischen Luft vorgehenden Bewegungserscheinungen verschiedener fallender Körper wurden dann als solche erkannt, wie sie nach den Gesetzen der gleichförmig beschleunigten Bewegung und nach den Gesetzen des Widerstandes gasförmiger Medien, in Bezug auf die Gestalt und materielle Beschaffenheit dieser Körper, geschehen müssen. Der Nutzen der Mathematik für die Erklärung der Naturerscheinungen zeigt sich noch besonders da, wo es möglich ist, gegebene qualitative Unterschiede auf quantitative zurückzuführen, wie in der Lehre vom Schall und auch in der Lehre vom Licht, wenn man die letztere nach der Undulationshypothese behandelt. Die Anwendung der Mathematik erfordert jedoch, namentlich bei der hypothetischen Erklärung der Erscheinungen, immer noch den Gebrauch anderer geistiger Operationen, um gewisse Principien festzustellen, die der Rechnung als Unterlage dienen. Und auch dann, wenn bereits bestimmte Relationen als Resultate der Rechnung in mathematischer Form erhalten sind, ist nicht selten noch eine besondere Interpretation derselben mit Rücksicht auf die gegebenen Erscheinungen nöthig, um eine vollständige Einsicht in den Zusammenhang der Erklärungsgründe zu gewinnen. Eine Zurückführung qualitativer Unterschiede auf quantitative ist auch mitunter ohne Ausführung besonderer Rechnungen, aber freilich nicht ohne mathematischen Blick möglich. Häufig ist es erforderlich, ein gesetzliches Verhalten nach seinen quantitativen Beziehungen festzustellen, ohne daß es sich dabei um Bestimmungen nach Zahl und Maß handelt. Dies kommt vor, wenn eine Erscheinung von verschiedenen Umständen oder Factoren abhängt, so daß bald der eine, bald der andere das Uebergewicht haben kann, und nun die Frage entsteht, wie die Erscheinung sich bei dem Uebergewichte dieses oder jenes Umstandes gestalten wird. Hier läßt sich nicht selten durch eine combinirende Betrachtung der verschiedenen Umstände, mit Rücksicht auf das Mehr und Minder im Allgemeinen, die besondere Natur der Erscheinung ableiten. — Sollen aber durch Beobachtungen und Versuche bestimmte numerische Werthe ermittelt werden, so ist zu bedenken, daß selbst unter den günstigsten Umständen nicht absolut scharfe Resultate gewonnen werden können. Es ist deshalb in Fällen, wo es auf große numerische Schärfe ankommt, nöthig, den Grad der erreichten Genauigkeit kennen zu lernen, und hierzu bietet die Mathematik ein vortreffliches Hülfsmittel dar (s. d. Art. Beobachtung).

Nachdem wir nun die verschiedenen Methoden, welche bei der Naturforschung zur Anwendung kommen können, in den Hauptpunkten aufgeführt haben, bleibt uns noch übrig, einen Blick auf die Eintheilung der Naturwissenschaft zu werfen. Den vorhergehenden Betrachtungen zufolge können wir die Naturwissenschaft als die Wissenschaft von den Gesetzen und Ursachen der Naturerscheinungen definiren. In diesem Sinne ist die Naturwissenschaft eine erklärende (aus Gründen ableitende), demonstrative oder theoretische Wissenschaft; sie ist dagegen eine beschreibende oder descriptive Wissenschaft, wenn sie die mannichfaltigen Gegenstände und Erscheinungen der Natur nach ihren (theils gemeinsamen, theils verschiedenartigen) Merkmalen classificirt und von denselben eine geordnete und vollständige Uebersicht giebt. Die descriptive Naturwissenschaft, die man wohl auch Naturgeschichte

nennt, umfaßt namentlich Mineralogie, Botanik und Zoologie. Die erklärende Naturwissenschaft, deren Gegenstand also die Erforschung der Gesetze und Ursachen der Naturerscheinungen ist, wird insgemein Naturlehre (Physik im weiteren Sinne, physique, engl. natural philosophy) genannt. Dieselbe zerfällt wieder in verschiedene Abtheilungen. Sind die Gegenstände ihrer Untersuchungen und Erklärungen die eigenthümlichen Lebenserscheinungen der Pflanzen und Thiere, so heißt sie gewöhnlich Physiologie (wohl auch Biologie), die sich gewissermaßen als eine Physik der Organismen betrachten läßt. Die beiden anderen Haupttheile sind die Physik im engeren Sinne (die gewöhnlich sogenannte Physik) und die Chemie. Unter den veränderlichen Erscheinungen, welche die Körper unter gewissen Umständen darbieten, giebt es (wie bereits im Eingange dieses Artikels bemerkt ist) solche, welche dem Anschein nach von keiner wesentlichen, sondern mitunter nur von einer mehr oder weniger beträchtlichen Formveränderung der Körper begleitet sind. Zu diesen Erscheinungen, welche der eigentliche Gegenstand der Physik im engeren Sinne sind, gehören außer den gewöhnlichen mechanischen Erscheinungen vorzugsweise die Erscheinungen des Schalles, des Lichts, der Wärme, der Elektricität und des Magnetismus. Auch kann man zu ihr noch die physische Astronomie zählen. Andere Erscheinungen sind dagegen, dem Anscheine nach, mit einer wesentlichen Veränderung der Körper verbunden, so z. B. in allen den Fällen, wo durch das Zusammentreffen verschiedenartiger Körper ein neues gleichartiges Ganze entsteht. Die Eigenschaften der zusammentreffenden Körper, von denen jeder durch eine bestimmte Gruppe sinnlicher Merkmale charakterisirt ist, verschwinden dem Anscheine nach vollständig, indem diese Körper zusammen ein Ganzes mit anderen sinnlichen Merkmalen darbieten. Etwas Aehnliches, nur im umgekehrten Sinne, findet statt, wenn ein zusammengesetzter Körper in seine ungleichartigen Bestandtheile zerfällt. Solche Veränderungen nennt man chemische, und den Theil der Naturwissenschaft, der sich mit ihrer Erklärung beschäftigt, die Chemie (s. d. Art.), welche man auch als die Lehre von der Zusammensetzung und Zerlegung der Körper definiren kann. Beide Wissenschaften, die Physik und Chemie, greifen mannichfach in einander ein, auch haben beide das Problem der Materie zu ihrem Gegenstande. Die allgemeineren Gesetze, nach welchen die Verbindungen und Zerlegungen der Körper vor sich gehen, dürfen dem Physiker nicht unbekannt sein, während die Chemie, wenn sie ihr Ziel wahrhaft wissenschaftlich verfolgen will, im Bereiche der Physik orientirt sein muß, da viele physikalische Agentien, wie unter anderen namentlich die Wärme und Elektricität, auf die chemischen Processe mannichfachen Einfluß haben. Die obige Definition der Physik im engeren Sinne, obwohl im Allgemeinen zutreffend, ist doch etwas zu enge, was man schon daraus erkennen kann, daß die Elektricität auch chemische Wirkungen ausübt, indem sie viele zusammengesetzte Körper in ihre ungleichartigen Bestandtheile zerlegt. Die Physiologie kann aber der Physik so wenig als der Chemie entbehren, da die Erscheinungen des organischen Lebens unverkennbar eine physikalische und chemische Seite darbieten.

Man unterscheidet die Experimentalphysik von der mathematischen und theoretischen Physik. Wiewohl nun ein solcher Unterschied begründet ist, so darf man sich doch diese verschiedenen Disciplinen, wie schon aus den vorstehenden Betrachtungen zur Genüge erhellet, nicht durch einen scharfen Gegensatz von einander getrennt denken. Die Physik verfährt experimental, wenn

sie die betreffenden Erscheinungen und deren Zusammenhang auf dem Wege des Experiments so weit als thunlich zur Darstellung bringt; sie ist theoretisch, wenn sie anknüpfend an die Ergebnisse der Versuche und Beobachtungen durch eine Reihe von Schlüssen dem Zusammenhange der Erscheinungen weiter nachspürt und dabei, so weit als möglich, sich der Hülfe der Mathematik bedient.

In Hinsicht auf Geschichte und Literatur der Physik vergleiche man den Artikel Physik.

Nebel heißen im Allgemeinen alle unmittelbar an der Erdoberfläche vorfallenden Verdichtungen der atmosphärischen Luft, durch welche diese mehr oder weniger undurchsichtig wird. Es sind diese Nebel theils feuchte, theils trockene Nebel. Nur auf diese Nebel kann in vorliegendem Artikel Bezug genommen werden; denn die sogenannten planetarischen Nebel sind ganz anderer Natur und gehören zu den Nebelflecken, über welche ein besonderer Artikel handelt.

Die feuchten Nebel bilden sich in der feuchten Luft, wenn durch eine eintretende Temperaturerniedrigung diese nicht mehr im Stande ist, die in ihr enthaltene Menge des luftförmigen Wassers im luftförmigen Aggregatzustande zu erhalten, d. h. wenn das der eintretenden Temperatur entsprechende Maximum der Expansivkraft überschritten wird. Ein bestimmter Raum kann nämlich bei einer bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Menge Dampf höchstens aufnehmen, und zwar um so mehr, je höher die Temperatur ist; hat also die Luft die ihrer Temperatur entsprechende Menge Wasserdampf aufgenommen und tritt eine Temperaturerniedrigung ein, so muß das Zuviel in tropfbarflüssiger Gestalt sich niederschlagen. Wegen des Näheren müssen wir hier auf Artikel Dampf, Bd. II. namentlich S. 86 ff. verweisen; auch dürften die Artikel Atmosphäre, Bd. I. S 537 ff. und Hygrometer, Bd. III. S. 886 manchen Aufschluß gewähren. Im Kleinen sieht man den hier in Rede stehenden Vorgang an dem aus einem, kochendes Wasser enthaltenden, Topfe aufsteigenden sogenannten Schwaden. Die feuchten Nebel sind gewissermaßen Schwaden in großem Maßstabe. Hat z. B. die Luft eine Temperatur von 20° C., das Wasser eine solche von 60° C., so entwickelt sich *) der Dampf mit einer Elasticität von 148,791 Millimetern; da derselbe aber bei einer Temperatur von 20°, für welche die Elasticität nur 17^{mm},391 beträgt, nicht mit dieser Elasticität bestehen kann, so verdichtet er sich zum Theil, bis seine Elasticität auf 17^{mm},391 herabgebracht ist. Hieraus sehen wir, daß der Nebel um so dichter sein muß, je mehr die Temperatur des Wassers die der Luft übersteigt und je feuchter, d. h. je näher an ihrem Sättigungspunkte, die Luft ist, weil, so bald sie gesättigt ist, aller fernerhin sich entwickelnde Dampf, so wie er in sie eintritt, sich verdichten muß. Auf diese Art bildet sich die Nebelwolke über der Locomotive, wenn der im Cylinder verbrauchte Dampf in die Luft entweicht, und dieselbe Entstehung haben die Nebel, welche sich über dem Meere, über Seen, Flüssen und Bächen, überhaupt über feuchtem Boden bilden, wenn — wie die Beobachtung auch ergeben hat — die Temperatur der Luft niedriger ist, als die des Wassers.

Indessen nicht immer bildet sich Nebel, wenn die Temperatur des Wassers die der darüber befindlichen Luft übersteigt. Es kommt erstens darauf an, ob die

*) Vergl. Art. Dampf, Bd. II. S. 132.

Luft schon ihrem Sättigungspunkte nahe ist oder nicht, und zweitens ob sie sich in Ruhe befindet oder stark bewegt wird. Hat die Luft noch nicht so viel Wasserdampf in sich aufgenommen, als zu ihrer Sättigung erforderlich ist, so versteht sich von selbst, daß kein Nebel entstehen kann; wird bei ruhiger Luft immer mehr Wasser im luftförmigen Zustande derselben zugeführt, so kann endlich der Sättigungspunkt erreicht werden, und schreitet die Bildung des Wasserdampfes noch weiter fort, so muß von da an ein Niederschlag, ein Nebel, eintreten; ist die Luft jedoch in Bewegung und wird immer neue, noch nicht gesättigte Luft zugeführt, während diejenige fortgetrieben wird, welche die aus dem Wasser aufsteigenden Dämpfe aufgenommen hat, so kann kein Niederschlag, kein Nebel, zu Stande kommen.

Hieraus erklären sich die Nebel, welche man bei ruhiger Luft während des Winters über Quellen sieht, indem diese fortwährend eine höhere Temperatur beibehalten, desgleichen die Nebel im Herbste über Flüssen, Seen und feuchten Wiesen. Es ist dann ein prächtiger Anblick, wenn man von der Höhe aus das Flußthal mit Nebel erfüllt erblickt, den die Morgensonne beleuchtet. Weithin läßt sich die weiße Ader verfolgen. Die Häufigkeit der Nebel in England, welches von einem warmen Meere umspült wird, erklärt sich eben hieraus, desgleichen die Nebel bei den Azoren, die Nebel über dem warmen Golfstrome.

Man beobachtet jedoch häufig Nebel unter scheinbar ganz anderen Umständen, als die eben angeführten sind, nämlich auch dann, wenn die Luft wärmer ist, als das darunter befindliche Wasser oder überhaupt der Wasserdämpfe entsendende Boden. Das Princip der Nebelbildung ist indessen auch hier dasselbe. Ist nämlich die wärmere Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, so muß sich der in ihr enthaltene Wasserdampf verdichten, sobald sie durch die niedere Temperatur der darunter befindlichen Oberfläche abgekühlt wird oder vielmehr sich mit den Luftschichten mischt, welche durch die Berührung mit der kalten Oberfläche eine niedrige Temperatur haben. Im Allgemeinen wird durch die Vermischung jeder zwei mit Feuchtigkeit gesättigter und verschieden erwärmter Luftmassen Nebel erzeugt, weil die mittlere Temperatur, welche sich aus jener Mischung ergiebt, ein Maximum der Expansivkraft besitzt, welches kleiner ist, als das Mittel aus denjenigen der gemischten Luftmassen. Ein Beispiel wird dies deutlich machen. Es möge sich Luft von 5° C. mit Luft von 15° mischen, und beide sollen mit Wasserdampf gesättigt sein. Die mittlere Temperatur wird 10° C. sein; aber die Elasticität des Wasserdampfes bei 5° ist $6^{mm},998$ und bei 15° C. $12^{mm},699$, also das Mittel $9^{mm},848$, während einer Temperatur von 10° C. nur ein Maximum der Expansivkraft von $9^{mm},165$ zukommt. Auf solche Weise entstehen die Nebel während eines Thauwetters, wo die Lufttemperatur merklich höher als die des Wassers ist; desgleichen über Eisflächen, eben so im Frühlinge und Sommer nach Gewitterregen über Flüssen und Seen, und endlich mitten im Lande durch Vermischung verschieden warmer Luftmassen, von denen die wärmere viel Feuchtigkeit enthält. Auf die letztere Art entstehen Nebel auch in höheren Regionen und heißen dann Wolken. Wolken sind also nichts Anderes als über der Erde schwebende Nebel, oder Nebel nichts Anderes als auf der Erde ruhende Wolken.

Wie solche Mischungen verschieden warmer Luftschichten möglich sind, das zeigen bei der Wolkenbildung die verschiedenen Luftströmungen, die Winde; um jedoch bei den eigentlichen Nebeln stehen zu bleiben, wollen wir nur an die

localen Nebel auf kleinen Binnengewässern erinnern. Hier senkt sich die über dem Boden stärker erkältete, also schwerere Luft von dem erhöhten Ufer herab und mischt sich mit den wärmeren Schichten über dem Wasserspiegel. Aehnlich ist es mit dem Frostnebel der Polarmeere.

Alle feuchten Nebel enthalten nach dem Vorhergehenden tropfbares Wasser. Muß dies Wasser nicht herunterfallen? In dem Artikel Dunst, Bd. II. S. 563 ist nachgewiesen, daß das tropfbare Wasser im Nebel keine dichten Wasserkugeln, sondern mit Dampf gefüllte Bläschen, Dunstbläschen, bildet. Wir haben es also hier mit hohlen Kugeln zu thun, welche mit den Seifenblasen in Betreff des Steigens und Schwebens verglichen werden können, von denen sie sich nur durch ihre Kleinheit unterscheiden. Ueber die Dimensionen dieser Bläschen, über die Dicke ihrer Wände ist das Erforderliche a. a. O. nachzusehen. Verhalten sich nun die Dunstbläschen ähnlich den Seifenblasen, so versteht sich auch die Unruhe, welche wir im Innern eines Nebels sehen, von selbst. Wir wollen hier nur erwähnen, wie ein Nebel in verticaler Richtung zunehmen kann. Ist die Luft über dem Wasser kälter als dieses und seinem Sättigungspunkte nahe, so sättigen die zuerst aufsteigenden Dämpfe die unterste Schicht und es bildet sich eine Nebelmasse in der Nähe des Bodens; steigen die entstandenen Nebelbläschen noch höher, so sättigen sie durch ihre Verdunstung die nächst höhere Schicht und der Nebel nimmt an Höhe zu; die Nebelbläschen steigen in dieser neuen Schicht noch weiter und sättigen die folgende Schicht, so daß auch diese sich endlich mit Nebelbläschen füllt rc. Ist die Luft über dem wärmeren Wasser oder feuchten Boden von dem Sättigungspunkte weit entfernt, so kann die Nebelschicht nicht bedeutend werden, da die der Oberfläche zunächst gelegene Schicht schon zu ihrer Sättigung viel Dampf verbraucht. Befindet man sich in einer solchen Nebelschicht, so ist die Luft, namentlich in horizontaler Richtung, undurchsichtig, weniger in verticaler. Wirkt dann die Sonne ein, so steigert sich die Temperatur der unteren Schicht immer mehr; sie wird fähig noch mehr Dampf aufzunehmen und der Nebel kann ganz verschwinden, wobei er in verticaler Richtung immer durchsichtiger wird. Man sagt alsdann, der Nebel falle, und schließt daraus mit Recht auf einen heiteren Tag, denn der Vorgang war nur möglich, weil die oberen Schichten und die Luft überhaupt von ihrem Sättigungspunkte weit entfernt waren. Enthält hingegen die Luft schon viel Feuchtigkeit, so kann die Nebelschicht eine bedeutende Höhe erreichen. Wirkt dann die Sonne ein, so wird, da die Luft ihre Wärme von der erwärmten Erdoberfläche erhält, die untere Schicht zunächst nebelfrei, während oberhalb der Nebel bleibt; man sagt dann, der Nebel steigt, und ein trüber Tag ist die Folge.

Wenn man einen jeden Tag, an welchem ein Nebel erscheint, einen Nebeltag nennt, abgesehen von der Ursache, welche ihn erzeugt, und abgesehen von der Dauer des Nebels, so zeigt sich, daß die Zahl dieser Tage in verschiedenen Jahren sich ziemlich gleich bleibt. Die Zahl derselben ist aber nicht an allen Orten gleich, und eben so wenig sind die Nebeltage durch das ganze Jahr gleichförmig vertheilt, wie aus folgender von Kämtz *) angegebenen Tabelle sich ergiebt.

*) Meteorologie, Bd. I. S. 371.

	London	Cuxhaven	Hamburg	Berlin	Moskau	Stuttgart	München	Tegernsee	Pleißenberg	St. Gotthardt
Januar . . .	5,0	4,1	7,4	4,4	1,9	4,4	7,4	11,2	12,8	18,5
Februar . .	3,9	3,2	5,6	4,2	0,9	3,8	3,2	10,9	11,0	18,5
März . . .	3,1	2,3	5,1	2,0	2,4	5,0	3,5	13,8	14,4	22,9
April . . .	1,6	1,5	3,6	1,4	1,2	1,0	1,7	10,6	9,1	23,7
Mai . . .	0,4	0,5	1,9	0,0	0,2	0,2	0,7	9,8	8,6	24,2
Juni . . .	0,2	0,7	2,0	0,4	0,7	0,6	1,2	8,4	8,0	25,7
Juli . . .	0,0	1,3	2,1	0,7	0,7	0,6	1,2	9,7	7,1	27,7
August . . .	1,0	1,5	2,9	0,5	1,7	0,6	1,5	10,4	6,2	25,8
September . .	2,5	2,2	2,9	2,3	2,3	4,0	2,0	8,8	10,2	25,6
October . .	5,8	3,1	6,7	5,2	3,1	5,0	7,5	13,9	16,2	23,3
November . .	5,5	4,5	6,0	7,2	1,9	9,2	9,3	12,8	15,3	20,9
December . .	4,8	4,5	6,1	5,3	1,2	4,4	7,9	14,3	14,0	20,7
Jahr . . .	33,8	29,4	52,3	33,6	18,2	38,8	47,1	134,6	132,9	277,5
Winter . . .	40,5	40,2	36,5	41,3	22,0	32,5	39,3	27,0	28,5	20,5
Frühling . .	15,0	14,6	20,3	10,1	20,9	15,9	12,5	25,4	24,1	25,5
Sommer . .	3,6	12,0	13,4	4,8	17,0	4,6	8,3	21,2	16,0	28,5
Herbst . . .	40,9	33,3	29,8	43,8	40,1	47,0	39,9	26,4	31,4	25,5

Nach dieser Tabelle sind in London, Cuxhaven, Hamburg, Berlin, Stuttgart und München Nebel im Winter und Herbst offenbar viel häufiger als im Sommer, wo fast gar keine auftreten. Dies hat daher seinen Grund, daß während der Boden noch vom Sommer her einigermaßen erwärmt ist, die Luft schon tiefer erkältet ist. Daher nehmen auch gegen das Frühjahr zu die Nebel wieder ab, indem Luft- und Boden-Temperatur gleichmäßig werden. Nur in Moskau sind im Sommer die Nebel fast eben so häufig, wie im Winter, welches daher rühren mag, daß die Temperatur im Winter so gering ist, daß der Niederschlag wegen des geringen Dampfgehalts der Atmosphäre nur unbedeutend sein könnte, und weil die Dampfmenge dort im Sommer weit größer ist, als im Winter. Aus der angeführten Tafel sieht man ferner, daß die Anzahl der jährlichen Nebeltage an den verschiedenen Orten sehr verschieden ist, auf dem St. Gotthardt ist sie fast zehnmal größer, als in den Ebenen. Im Allgemeinen sind die Nebel auf den Gebirgen häufiger, als in den Ebenen. Auf den trockenen Ebenen Asiens und Afrikas fehlen die Nebel fast gänzlich, doch wird die Luft dafür häufig durch aufgetriebene Sand- und Staubwolken, welche der Wind mit sich führt, verdunkelt. Wenn die Dämpfe, namentlich im Sommer, mit Schnelligkeit in die Höhe gerissen werden, so können sie (wie Kämtz bemerkt) durch partielle an den Wänden der Berge herabsinkende Stürme leichter condensirt werden. Diese Condensation wird im Sommer, wo der Dampfgehalt der Atmosphäre größer ist, als im Winter, weit auffallender sein. Daher steigt die verhältnißmäßige Zahl der Nebeltage im Sommer desto mehr, je höher wir aufsteigen, so daß auf dem St. Gotthardt der Sommer das Uebergewicht hat.

Daß manche Gegenden vielfach von Nebeln heimgesucht werden, dafür haben wir oben schon beiläufig England, die Azoren, die Gegend des Golfstromes, namentlich bei New-Foundland, angeführt. Im Allgemeinen sind die Nebel am häufigsten an der Nähe der Küsten und großen Seen, weil hier die Luft stets mit Feuchtigkeit gesättigt ist und schnelle Temperaturwechsel häufiger eintreten. Bekannt sind die Nebel an der niederländischen Küste, besonders bei Amsterdam, desgleichen an den Küsten von England und Norwegen. An der Küste von Peru hält der Nebel oft 4 bis 5 Monate ununterbrochen an, so daß die Schifffahrt dadurch erschwert wird. A. v. Humboldt *) giebt für diese Gegend aus eigener Erfahrung an, daß man hier in der Inklinationsnadel ein Mittel besitze, mit einer für die Bedürfnisse der Schifffahrt hinreichenden Genauigkeit die Breite zu bestimmen. Die Londoner Nebel sind allbekannt: oft dringt hier die Sonne gar nicht durch; die Straßen sind den ganzen Tag so trübe, daß man kaum einige Schritte weit sehen kann; in den Häusern und auf den Straßen muß man die Lampen anzünden und selbst bei der größten Vorsicht sind bei dem Straßengewühle Unglücksfälle nicht zu vermeiden. In der nächsten Umgegend ist dann oft das heiterste Wetter. Am häufigsten ist dies im November, doch stellen sich solche Nebel auch zu anderen Zeiten ein, z. B. am 10. April 1852, wo London bis zu Mittag in tiefes Dunkel gehüllt war. Schon Strabo spricht von dem über Großbritannien anhaltend liegenden Nebel.

Eine Nebeltheorie, welche auf elektrische Verhältnisse gegründet ist und von Peltier herrührt**), verdient nur historische Beachtung und ist von Duprez ***) widerlegt.

Steht man in einer Nebelschicht, über welche hohe Gegenstände noch emporragen, so sieht man häufig den Schatten derselben auf der Nebeloberfläche abgebildet, wenn die Sonne noch niedrig steht. An den Thürmen auf dem Gensdarmenmarkte zu Berlin hat man dies öfters bemerkt, und ich selbst habe es oft in Stettin an dem Jacobithurme beobachtet. Steht man selbst über dem Nebel, so bemerkt man wohl seinen eigenen Schatten auf dem Nebel ruhend ****).

Gegenstände von bekannter Größe erscheinen im Nebel oft riesenmäßig groß. Es ist dies eine Täuschung, die dadurch veranlaßt wird, daß man den Gegenstand unbewußt so weit fortrückt, als er stehen müßte, um bei heiterer Luft eben so undeutlich zu erscheinen, wie im Nebel. Da der Gegenstand aber viel näher ist, so trägt man den Sehwinkel, unter welchem derselbe erscheint, auf diese angenommene Entfernung über und vergrößert somit scheinbar den Gegenstand.

Die Nebel sind häufig übelriechend und dieses rührt dann stets von Stoffen her, die sich in Dampfgestalt oder in fein zertheiltem Zustande in der Atmosphäre befinden. Die riechenden Stoffe erheben sich entweder zugleich mit dem von der Erdoberfläche aufsteigenden Dampfe, oder werden mit der Luft aus ferneren Gegenden zugeführt. Daß viele riechbare Substanzen sehr geneigt sind mit der atmosphärischen Feuchtigkeit sich zu verbinden, kann man unter anderen daraus entnehmen, daß viele Blumen erst in der feuchten Abend- und Nachtluft zu duften beginnen. Am häufigsten sind aber die trockenen Nebel riechbar.

*) Kosmos, Bd. II. S. 321.
**) Mém. des Savans étrang. de la Soc. Roy. de Brux. T. XV.
***) Mém. des Savans étrang. de la Soc. Roy. de Brux. T. XV. p. 1.
****) Vergl. Art. Luftspiegelungen. Bd. IV. S. 743.

Die trockenen Nebel bestehen aus Rauch und anderen in Dampfform oder als Staub in die Luft empor gestiegenen oder geführten Substanzen. Hierfür spricht ihr Vorkommen namentlich in heißen Sommern. Es gehört hierher namentlich der Höhenrauch, worüber Art. Höhenrauch, Bd. III. S. 849 handelt. Auf den großartigen trockenen Nebel des Jahres 1783 machen wir besonders aufmerksam. Ch. Martins *) unterscheidet 4 Arten: 1) herrührend vom Rauche angezündeter Torfmoore, 2) von vulkanischen Eruptionen, 3) Sommerbrand (in Spanien Callina genannt) und 4) wahre trockene Nebel, von denen jedoch nur zwei Fälle, einer von de Saussure, der andere von v. Humboldt beobachtet, bekannt sind.

Es ist eine bekannte Sache, daß der Wasserdampf sich sehr begierig mit dem Rauche verbindet; dasselbe gilt auch von dem Staube, welcher in der Luft schwebt. Nimmt die Feuchtigkeit der Luft zu, so werden die Rauch- und Staubtheilchen durch den an ihnen condensirten Wasserdampf so schwer, daß sie herabsinken, und sind diese Theilchen in großer Menge vorhanden, so kann dadurch die Luft sogar mehr oder weniger undurchsichtig werden. Die trockenen Nebel entziehen demnach der Luft die Feuchtigkeit und daß dem so ist, dafür spricht die Erfahrung in Westphalen, nach welcher die Regen aufhören, so wie das Moorbrennen begonnen hat.

Trockene Nebel verbinden sich häufig mit feuchten Nebeln. Nach dem eben Gesagten ist dies nicht auffallend. Daß dies namentlich an Orten der Fall sein wird, wo durch vielfache und großartige Verbrennungsprocesse viel Rauch in die Luft geführt wird, ist an sich klar, und daher kommt es, daß besonders große Städte, wie London, oft damit geplagt sind; denn es ist nur nöthig, daß kältere Luftschichten über dem Orte lagern, durch welche die aufsteigenden Wasserdämpfe sich zu Nebel verdichten. Vermischen sich nun diese Dämpfe noch mit dem Rauche der Schornsteine rc., so muß die Undurchsichtigkeit der Luft zunehmen, und überdies wird es auch an einem übeln Geruche bei dergleichen Niederschlägen nicht fehlen.

H. E.

Nebelbilder sind mit der Zauberlaterne oder magischen Laterne erzeugte Bilder, welche der Reihe nach so auf einander folgen, daß das vorhergehende immer wie in einen Nebel gehüllt verschwindet, aus welchem dann das folgende sich wieder klar und deutlich entwickelt. Das Nähere gehört in den Art. Zauberlaterne und daher beschränken wir uns hier nur auf Folgendes. Nehmen wir an, daß dergleichen Bilder in einem Theater zur Vorstellung gebracht werden. Hinter dem Theatervorhange wird eine Leinwand ausgespannt, die, um alle Falten auf derselben zu verhüten, naß gemacht wird. Im Hintergrunde der Bühne stehen zwei kräftige Zauberlaternen, erleuchtet mit angezündetem Knallgase, welches auf Kalk strömend das Drummond'sche Licht (s. Art. Flamme, Bd. III. S. 237) liefert. Jede Laterne wirft auf die ausgespannte Leinwand einen hellerleuchteten Kreis. Nun werden die beiden Laternen so gestellt, daß beide Kreise von gleicher Größe sind und genau sich decken, als ob es nur ein einziger Kreis wäre. Schiebt man hierauf in die eine Laterne ein Bild vorschriftsmäßig ein, so entsteht davon ein vergrößertes Bild auf dem erleuchteten Kreise der Leinwand; bringt man das eingeschobene Bild aus seiner genauen Stellung, so wird das Bild auf der Lein-

*) Annuaire de météorologie de France. 1850.

wand undeutlich, wie in Nebel gehüllt, und bringt man zu gleicher Zeit in die zweite Laterne ein anderes Bild, welches seiner richtigen Stellung immer mehr genähert wird, während das erstere sich von derselben entfernt, so geht allmälig das zweite Bild aus dem Nebel hervor, welcher durch das Entweichen des ersten Bildes scheinbar hervorgerufen wurde. Hierauf ersetzt man das Bild der ersten Laterne durch ein neues, läßt das der zweiten Laterne entweichen und das der ersten hervortreten. Sind die beiden Laternen richtig gestellt und soll die Vorstellung beginnen, so wird der Theatervorhang emporgezogen und die im dunklen Zuschauerraume sitzenden Zuschauer genießen nun den Anblick der auf einander folgenden Verwandlungen.

Es ist klar, daß man mit zwei Zauberlaternen gewöhnlicher Art in gleicher Weise auf einer einfarbigen, am besten weißen Wand dieselben Effecte hervorbringen kann. H. E.

Nebelflecke heißen die am nächtlichen Himmel sichtbaren, kleineren lichten Stellen, welche meistens aus einer großen Anzahl, wohl in der Mehrzahl nur scheinbar bei einander stehender Fixsterne bestehen, die aber wegen ihrer zu großen Entfernung mit bloßen Augen nicht mehr als einzelne Sterne unterschieden werden können, sondern zusammen eine lichte, matte Wolke bilden. Sehen wir von dem nebeligen Streifen ab, welcher das ganze Himmelsgewölbe in zwei nahe gleiche Theile theilt und mit dem Namen der Milchstraße (s. d. Art.) bezeichnet wird, so erblickt man mit unbewaffnetem Auge nur wenige solcher Nebelflecken; es gehört dahin der Nebelfleck in der Andromeda; erst im 17. Jahrhunderte, nach Erfindung der Fernröhre, wurden mehrere solcher Stellen aufgefunden. Die erste und zwar sehr genaue Beschreibung eines Nebelfleckes hat Simon Marius (beobachtet am 15. December 1612) im Jahre 1614 gegeben. Huyghens entdeckte 1656 den Nebelfleck im Schwerte des Orion. Halley kannte 1716 nur 6 Nebelflecke. Lacaille vermehrte (1750 bis 1752) die Zahl der Nebelflecke ansehnlich durch seine Beobachtungen in der südlichen Hemisphäre. Messier fügte 1771 noch 66 hinzu. Am erfolgreichsten waren aber beide Herschel auf diesem Felde thätig, der ältere seit 1779, der jüngere seit 1825, und in neuester Zeit ist durch das funfzigfüßige Teleskop des Earl of Rosse wieder eine neue Epoche in der Kenntniß dieser räthselhaften Weltkörper eingetreten *).

Betrachtet man einen Nebelfleck mit einem stark vergrößernden Fernrohre, so gelingt es bei vielen, den Nebel in eine Unzahl von einzelnen Sternen aufzulösen, und da mit der Vervollkommnung der Fernröhre viele Nebelflecke aufgelöst worden sind, welche man früher als unauflösbare ansah, so ist man wohl berechtigt, analog weiter zu schließen und alle Nebelflecke für auflösbar zu halten. Der Unterschied zwischen Nebeln und Sternhaufen, welchen man bisher wohl noch gemacht hat, wird mithin für die Zukunft aufzugeben sein, wie man auch schon die 8 verschiedenen Arten von Nebelmassen, welche der ältere Herschel aufstellte, hat fallen lassen. Es verhält sich hiernach mit den Nebelflecken wie mit den Sterngruppen, welche schon durch das unbewaffnete Auge oder durch schwache Fernröhre als einzelne Sterne erkennbar sind, und zu denen die Plejaden, das Haupthaar der Berenice, eine lichte Wolke im Wehrgehenke des Perseus u. a.

*) Ausführlich handelt von den Nebelflecken A. v. Humboldt in seinem Kosmos, Bd. III. S. 311 ff., zu vergl. ist auch Bd. I. S. 85 ff.

gehören. Zum Unterschiede von diesen müßte man jene, zu deren Auflösung stärkere Fernröhre erforderlich sind, teleskopische Gruppen nennen.

Die teleskopischen Gruppen sind in der Regel von runder, elliptischer, oft fast genau kreisförmiger Gestalt. Nach Herschel d. ä. finden sich oft 10 bis 20000 Sterne in einem kugelförmigen Raume zusammengedrängt, dessen Oberfläche kaum ein Zehntel der Oberfläche des Vollmondes beträgt. Der von Huyghens entdeckte Nebel zeichnet sich durch seine sehr unregelmäßige Gestalt aus; der Nebel in den Jagdhunden ist kreisförmig; der Nebel zwischen β und γ der Leier ringförmig u. s. f. Unter den runden oder ovalen Nebeln finden sich auch Doppelnebel.

Gewöhnlich sind die einen Nebelfleck bildenden Sterne scheinbar alle gleich groß; doch findet man zuweilen auch einen oder einige größere Sterne in der Mitte der Gruppe, die sich dann oft auch durch eine rothe Farbe auszeichnen, oder wohl auch eigentliche Doppelsterne sind, z. B. 2 Centralsterne im Nebel des Schützen, 3 in dem des Fuhrmann.

Herschel d. ä. unterschied noch planetarische Nebel. Der größere Theil ist rund oder etwas oval, bald scharf begrenzt, bald verwaschen und dunstig an den Rändern; bei vielen hat die Scheibe ein sehr gleichförmiges Licht, bei anderen ist sie wie gesprenkelt oder schwach gefleckt. Manche dieser Nebel haben eine blaue Färbung. Da durch Lord Rosse bereits 5 dieser planetarischen Nebel als Ringnebel mit 1 oder 2 Centralsternen nachgewiesen sind, so bilden sie schwerlich eine abzusondernde Classe, sondern gehören ihrer Natur nach zu den Nebelflecken, die sich als Sterngruppen herausstellen.

Anders scheint es zu stehen mit den sogenannten Nebelsternen. Sie sind wahrscheinlich wirkliche Sterne mit einem zu denselben in Beziehung stehenden milchigen Nebel, der vielleicht selbstleuchtend ist und wie bei unserer Sonne eine Photosphäre um den Stern bildet, oder vielleicht auch nur von dem in Centrum stehenden Sterne wie von einer Centralsonne erleuchtet wird. Nach einer anderen Ansicht stehen Stern und Nebel gar nicht in Beziehung, sondern der Stern soll weit vor dem Nebel stehen und sich auf diesen projiciren.

An dem großen Nebel im Orion hat man durch fortgesetzte Beobachtungen Veränderungen wahrgenommen, sowohl in Bezug auf den vom Nebel eingenommenen Raum, als auf die Vertheilung des Lichtes in ihm. Dies hat Veranlassung gegeben, 2 Arten von Nebeln zu unterscheiden: erstens solche, welche entfernte Sterngruppen sind, und zweitens solche, die aus einer dünnen lichten Masse bestehen, vielleicht aus der Materie, aus welcher sich bei zunehmender Concentration erst Kernnebel, dann planetarische Nebel, dann Fixsterne mit Nebelatmosphären und endlich scharf begrenzte Fixsterne bilden.

Aus Allem sehen wir, daß heut zu Tage auf diesem Gebiete der Phantasie noch ein großer Spielraum geboten ist; wir können uns daher nicht wundern, daß früher noch weit mehr über die Nebelflecke phantasirt worden ist. Lambert's (1749) und Kant's (1755) Ansichten gehören hierher, nach denen aus kosmischen Nebeln die Sterne erzeugt werden sollten.

Seit der Sternenhimmel sowohl auf der nördlichen als südlichen Hemisphäre nach Nebelflecken fleißig durchforscht worden ist, hat man etwa 4000 in ihrer Position, d. h. nach Rectascension und Deklination aufgezeichnet. Bis 1833 zählte man am nördlichen Himmel (dem Theile des Firmamentes, welcher in

Slough sichtbar ist) 2299 Nebelflecke und 152 Sternhaufen, d. h. aufgelöste Nebelflecke, und am südlichen Himmel (dem am Vorgebirge der guten Hoffnung sichtbaren Theile des Firmamentes) 1239 Nebelflecke und 236 Sternhaufen, also im Ganzen 3926. Hierbei hat sich herausgestellt, daß die frühere Ansicht, nach welcher die Nebelflecke sich in einer Zone befänden, welche die Milchstraße rechtwinkelig schneide, falsch ist, wenngleich an den Polen der Milchstraße sich die Nebelflecke in größerer Fülle zeigen. Die südliche Hemisphäre enthält weniger Nebelflecke als die nördliche, aber sie sind in ihr gleichmäßiger vertheilt; am dichtesten stehen sie in der Großen Magellanischen Wolke, indem diese allein gegen 300 enthält. Auf der nördlichen Hemisphäre ist die Region der Jungfrau die ausgezeichnetste. Die Gegend der beiden Pole fällt durch ihre Armuth an Nebelflecken auf. H. C.

Nebenplaneten, s. Planeten.

Neigung der Magnetnadel oder Inklination (v. d. griech. κλίνω, ich neige; inclinatio magnetica, inclinaison de l'aiguille aimantée, dip of the magnetic needle) heißt der Winkel, welchen eine Magnetnadel, die sich in der Ebene des magnetischen Meridians frei um ihren Schwerpunkt bewegen kann, mit dem Horizonte macht.

Wenn man nämlich eine Stahlnadel so aufhängt, daß ihr Schwerpunkt genau unterstützt ist und sie sich, wie ein Wagebalken, nur in einer verticalen Ebene bewegen kann, so wird sie in jeder beliebigen Lage im Gleichgewichte bleiben, eben so wie jeder andere genau im Schwerpunkte unterstützte Körper. Magnetisirt man sie aber hierauf und hängt sie genau auf wie vorher, so wird sie nicht mehr in jeder beliebigen Lage stehen bleiben, vielmehr wird sich in unseren Gegenden das nordpolarische Ende derselben gegen den Horizont senken, also einen Winkel mit demselben bilden, gleichsam als ob das nordpolarische Ende schwerer als das südpolarische geworden und die Nadel nicht mehr genau in ihrem Schwerpunkte unterstützt wäre. Dieser Winkel ist verschieden, je nach der Lage der verticalen Ebene, in welcher allein die Nadel sich bewegen kann; am kleinsten wird derselbe, wenn diese verticale Drehungsebene mit der Ebene des magnetischen Meridians zusammenfällt, und dieser kleinste unter allen Winkeln, welche die Nadel mit dem Horizonte bildet, ist es, welchem man den Namen Neigungswinkel beigelegt hat, und nach welchem man die Neigung eines bestimmten Ortes mißt.

Die Apparate, deren man sich bedient, die Neigung der Magnetnadel zu beobachten, werden Inklinatorien, Inklinationsboussolen, Inklinations- oder Neigungsnadeln genannt. Ihre Einrichtung und ihr Gebrauch ist angegeben in dem Artikel: Inklinatorium, Bd. IV. S. 85; nur wegen der Inklinationsvariationen wird dieser Artikel noch über die erforderlichen Instrumente das Nähere liefern.

Die Neigung der Magnetnadel wurde 1543 von Georg Hartmann, Vicar der St. Sebalduskirche zu Nürnberg, entdeckt, wie aus einem Briefe desselben an den Herzog Albrecht von Preußen vom 4. März 1544 hervorgeht *). Gewöhnlich wird der Engländer Robert Normann als Entdecker angeführt **),

*) Dove's Repertor. der Physik, Bd. II. S. 129.

**) Muschenbroek de magnete exper. 98. Normann, the new attractive; containing ashort discours of the magnet etc. London 1596. 4.

doch steht von diesem nur fest, daß er 1576 ein Inklinatorium construirt hat. Man hatte schon früher Gelegenheit gehabt, zu bemerken, daß die Magnetnadel bei der Annäherung gegen den Nordpol ihre Horizontalität verliere, hatte diesen Umstand aber durch die Annahme erklärt, daß die Nadel nicht genau unter dem Schwerpunkte unterstützt sei. Normann brachte am südpolarischen Ende der Nadel ein Gegengewicht an, um die Horizontalität der Nadel wieder herzustellen, und machte die Bemerkung, daß dieses Gegengewicht an den verschiedenen Beobachtungsorten verändert werden müsse.

Jeder Ort der Erde hat zu einer bestimmten Zeit eine bestimmte Neigung. Im Allgemeinen stellt sich folgendes heraus. Reiset man z. B. von Berlin nach dem Nordpole der Erde zu, so bemerkt man, daß mit zunehmender geographischer Breite die Neigung der Nadel immer größer wird. Dies geschieht so lange, bis man sich bei dem magnetischen Pole der Erde befindet, woselbst die Neigungsnadel eine Neigung = 90° zeigt. Reist man dagegen von Berlin nach dem Südpole der Erde zu, so nimmt anfänglich die Neigung der Nadel immer mehr ab, sie wird endlich in der Nähe des Aequators = 0, d. h. die Neigungsnadel stellt sich in die Horizontalebene. Nähert man sich dem Südpole noch weiter, so sinkt nun das südpolarische Ende unter den Horizont und zwar immer mehr, je mehr man sich dem magnetischen Südpole der Erde nähert, wo selbst die südliche Neigung ebenfalls = 90° ist.

In welcher geographischen Länge man auch die Aequatorialzone passiren mag, so wird man doch immer einen Punkt finden, an welchem die Inklinationsnadel horizontal steht, die Inklination also = 0 ist. Diese Orte ohne Inklination bilden um die ganze Erde eine unregelmäßig gekrümmte Linie, welche man den magnetischen Aequator nennt. Im Jahre 1830 durchschnitt der magnetische Aequator den Erdäquator unter 23° und 197° L. v. Ferro, entfernte sich nördlich höchstens 20° von demselben, nämlich unter 65° L., und südlich um 12° unter 342° L. Nördlich von dem magnetischen Aequator senkt sich der Nordpol, südlich der Südpol der Nadel. Verbindet man auf einem Globus diejenigen Orte unter einander, in welchem zu gleicher Zeit die Magnetnadel dieselbe Neigung hat, so erhält man die sogenannten Linien gleicher Neigung oder isoklinischen Linien (v. d. griech. *ἴσος*, gleich, und *κλίνω*, ich neige). Die Linien gleicher Neigung gehen annähernd parallel mit dem magnetischen Aequator und bilden sämmtlich geschlossene Linien um die Erde.

Ueber den magnetischen Aequator besitzen wir eine ausgedehnte Untersuchung von Morlet *). Nach ihm ist derselbe eine Curve doppelter Krümmung mit vielen Biegungen, welche an keiner Stelle einem Kreise gleicht. Die hauptsächlichsten Biegungen finden in der Nähe der Knoten (der Durchschnittspunkte zwischen dem magnetischen und terrestrischen Aequator) statt, außerdem giebt es aber noch partielle, von localen Störungen herrührende Inflexionen. Folgende Tafel enthält die merkwürdigsten Punkte des magnetischen Aequators (die Knoten und das Maximum seiner nördlichen und südlichen Breite), sowohl in diesem Jahrhunderte, als in dem letzten Viertel des vorigen.

*) Mém. presentés par div. sav. Sc. mathém. et phys. Tom. III. Paris. 1832.

	Breite	Länge v. Paris	
Knoten 1.	0° 0′	3° 45′ O	1822
	0° 0′	etwa 17° — O	1780
Knoten 2.	0° 0′	174° 55′ O	1825
	0° 0′	etwa 180° —	1779
Maximum der nördl. Breite	11° 43′ N	50° bis 67°	1776
Maximum der südl. Breite	15° 35′ S	45° bis 50°	1822
	13° 59′ S	20° bis 30°	1776.

Hieraus folgt, daß die Curve des magnetischen Aequators seit 1776 von O nach W sich bewegt hat, jedoch nicht so, daß jeder Punkt derselben parallel dem terrestrischen Aequator fortgeschoben worden; vielmehr sieht man, daß von 1776 an der größte Abstand des magnetischen Aequators um 1° 36′ größer geworden ist, indem er damals 13° 59′, im Jahre 1822 aber 15° 35′ betrug. Da im atlantischen Ocean zu gleicher Zeit eine starke Bewegung dieser Curve von S nach N stattfand, so folgt daraus, daß die Gestalt derselben der Zeit nach veränderlich ist.

Die folgende Tabelle *) enthält eine Anzahl zuverlässiger, in diesem Jahrhundert in der Nähe des magnetischen Aequators angestellter Beobachtungen der Inklination, wobei wir jedoch auch die Deklination mit aufgenommen haben, um die nöthigen Data zu liefern, welche zu einer Berechnung der Lage des magnetischen Aequators nöthig sind nach der Formel $\operatorname{tg} i = 2 \operatorname{tg} \psi$. Es bedeutet hierin i die beobachtete Neigung und ψ die magnetische Breite, d. h. die Bogenentfernung des Beobachtungsortes von dem magnetischen Aequator auf einem größten Kreise gemessen, der durch den magnetischen Meridian gelegt ist. Nach Morlet bestätigt sich diese Formel, sobald i nicht über 15 bis 20° beträgt.

Atlantischer Ocean.

Beobachtungs-Ort	Jahr	Geographischer Ort		Namen der Beobachter	Deklination	Inklination
		Breite	Länge von Paris			
Sta Catharina	1822	27° 26′ S	51° 1′ W	Duperrey	6° 26′ O	— 22° 54′
Rio de Janeiro	1816	22 54	45 38	Lamarche	3 33	— 14 24
Auf dem Meere	1822	27 18	48 52	Duperrey	6 30	— 23 7
Bahia	,,	12 59	40 53	Sabine	2 0 W	+ 4 12
Auf dem Meere	,,	21 11	32 49	Duperrey	3 20	— 12 42
,,	,,	19 30	29 15	,,	7 56	— 11 1
,,	,,	16 43	28 15	,,	8 0	— 6 29
,,	,,	14 42	27 50	,,	9 0	— 3 13
,,	,,	13 25	27 13	,,	8 0	— 0 51
,,	,,	12 55	27 4	,,	8 0	— 0 11
,,	,,	12 27	26 53	,,	8 0	— 0 0
,,	,,	11 43	26 32	,,	8 0	+ 1 37
,,	,,	11 4	26 24	,,	8 0	+ 2 9
,,	,,	6 20	26 15	,,	11 30	+ 11 7
,,	,,	4 35	26 4	,,	12 30	+ 15 15

*) Neigungsbeobachtungen von Duperrey, vergl. Pogg. Ann. Bd. X. S. 567, von Sabine, Bd. VI. S. 98, v. Humboldt, Bd. XV. S. 336.

Beobachtungs-Ort	Jahr	Geographischer Ort		Namen der Beobachter	Deklination	Inklination
		Breite	Länge von Paris			
Auf dem Meere	1822	2° 48′ S	25° 50′ W	Duperrey	11° 30′ W	+ 18° 14′
,,	,,	1 40	25 38	,,	12 45	+ 18 35
,,	,,	8 16	15 44	,,	17 0	+ 2 13
,,	,,	9 44	14 14	,,	18 20	+ 0 2
,,	,,	10 47	12 49	,,	18 40	— 3 4
,,	,,	13 6	11 5	,,	18 45	— 8 47
Inf. Ascension	,,	7 56	16 44	,,	16 52	+ 1 58
St. Helena	,,	15 55	8 3	,,	19 34	— 15 3

Indisches Meer.

Trinconomala	1828	8° 32′ N	78° 51′ O	Blosseville	1° 8′ O	— 2° 39′
Pondichery	,,	11 56	77 32	,,	1 13	+ 3 43
Karikal	,,	10 55	77 33	,,	1 14	+ 1 51
Changani	,,	9 47	77 36	,,	1 16	— 0 37
Jaffnapatnam	,,	9 40	77 41	,,	1 16	— 0 40
Arepo	,,	8 48	77 31	,,	1 16	— 2 18
Calcutta	,,	22 34	86 1	,,	2 38	+ 26 33
Chandernagor	,,	22 51	85 58	,,	2 40	+ 26 47
Batavia	,,	6 9 S	104 27	,,	0 31	— 25 56
Insel Kniper	,,	6 2	104 21	,,	0 31	— 25 33
Surabaja	1824	7 13 N	110 23	Duperrey	0 10	— 26 39
Amboina	1823	3 42	125 50	,,	0 28	— 20 32
Caïeli	1823	3 23	124 46	,,	0 31	— 20 8

Großer Ocean.

Insel Rawak	1818	0° 1′ S	128° 35′ O	Freycinet	(1° 2′) O	— 14° 27′
Offak	1824	0 2	128 35	Duperrey	1 2	— 13 34
Hafen von Dory	,,	0 52	131 45	,,	1 36	— 14 36
Auf dem Meere	,,	0 2 N	131 8	,,	2 50	— 13 50
,,	,,	0 5	133 46	,,	1 0	— 12 21
,,	,,	0 20 S	135 59	,,	2 0	— 12 41
,,	,,	1 37	137 52	,,	2 10	— 16 17
,,	,,	0 40 N	141 36	,,	0 53	— 12 14
,,	,,	6 21	144 7	,,	3 0	— 2 0
,,	,,	6 51	144 59	,,	3 30	+ 0 16
,,	,,	6 59	145 3	,,	3 30	+ 0 4
,,	,,	7 13	149 13	,,	5 42	+ 1 11
,,	,,	7 27	150 48	,,	5 0	+ 1 41
,,	,,	7 25	150 38	,,	4 10	+ 1 34
,,	,,	7 32	150 47	,,	4 0	+ 1 52
Fort Praslin	,,	4 50 S	150 28	,,	6 48	— 20 40
Auf dem Meere	,,	8 16 N	151 46	,,	5 38	+ 3 49
,,	,,	8 40	154 23	,,	7 30	+ 5 22
Ualan	,,	5 21	160 41	,,	9 21	+ 3 10
Auf dem Meere	,,	5 4	164 5	,,	10 0	+ 3 24
,,	,,	6 36	166 19	,,	8 15	+ 6 11
,,	,,	3 39	169 39	,,	8 1	+ 4 43
,,	,,	1 33	170 19	,,	10 15	+ 1 12
,,	,,	1 6	170 26	,,	8 40	0 0
,,	,,	0 53	170 39	,,	8 40	— 0 31

Beobachtungs-Ort	Jahr	Geographischer Ort		Namen der Beobachter	Deklina-tion	Inklina-tion
		Breite	Länge von Paris			
Auf dem Meere	1824	0° 11′ N	171° 3′ O	Duperrey	8° 2′ O	— 2° 20′
,,	,,	0 40 S	172 2	,,	7 45	— 3 4
,,	,,	1 45	172 47	,,	7 45	— 3 35
,,	,,	2 57	172 55	,,	7 45	— 6 28
,,	,,	1 43	172 57	,,	7 45	— 3 14
,,	,,	4 1	173 19	,,	9 0	— 10 9
,,	,,	6 22	173 42	,,	8 5	— 12 25
,,	,,	7 31	174 25	,,	8 30	— 15 11
,,	,,	8 45	175 4	,,	10 32	— 16 34
,,	1803	3 12 N	89 36 W	Humboldt	(8° 0) O	— 20 31
,,	,,	1 4	86 18	,,		— 17 11
Guajaquil	,,	2 13 S	82 18	,,		— 10 45
Auf dem Meere	,,	3 2	82 27	,,		— 9 54
Tomependa	,,	5 31	80 57	,,		+ 3 12
Lora	,,	4 0	81 44	,,		+ 5 24
Cuenca	,,	2 55	81 34	,,		+ 8 25
Quito	,,	0 14	81 5	,,		+ 13 22
Sto Antonio	,,	0 0	81 2	,,		+ 14 25
Guarmey	,,	10 4	80 42	,,		+ 6 7
Huaura	,,	11 3	79 53	,,		+ 8 6
Chanchay	,,	11 32	79 43	,,		+ 9 19
Lima	,,	12 2	79 28	,,		+ 9 59
Popayan	,,	2 26 N	79 0	,,		+ 20 45
S. Fe de Bojota	,,	4 36	76 32	,,		+ 24 16
Javita	,,	2 49	70 3	,,	(7° 0) O	+ 24 18
Carichiana	,,	6 43	70 18	,,		+ 30 24
Auf dem Meere	1823	13 0	79 15	Duperrey	8 2	— 8 26
,,	,,	14 6	79 6	,,	9 33	— 9 55
,,	,,	16 52	79 5	,,	9 16	— 14 50
Callao	,,	12 3	79 37	,,	9 30	— 8 33
Auf dem Meere	,,	6 51	83 45	,,	8 23	+ 1 51
,,	,,	7 43	83 47	,,	8 23	— 0 1
,,	,,	8 23	83 9	,,	7 42	— 1 41
,,	,,	8 54	82 47	,,	7 42	— 2 19
,,	,,	10 5	81 46	,,	8 32	— 4 8
,,	,,	11 18	80 51	,,	8 27	— 7 6
Payta	,,	5 6	83 32	,,	8 56	+ 4 6
Auf dem Meere	,,	17 16	108 29	,,	6 15	+ 27 47
,,	,,	17 36	104 40	,,	7 6	+ 27 14
,,	,,	18 9	100 2	,,	8 0	+ 27 36
,,	,,	7 32	87 26	,,	10 47	+ 3 51
,,	,,	6 22	85 59	,,	10 48	+ 0 51

Eine Zeichnung des von Morlet bestimmten magnetischen Aequators giebt Biot *); er durchschneidet den Erdäquator ein erstes Mal auf der Westseite Afrikas unter ungefähr 10° östl. Länge von Paris. Verfolgt man ihn von hier aus immer nach Westen, so wird anfangs der Abstand von dem Erdäquator

*) Précis élém. T. II. Pl. III. und in der deutschen Bearbeitung von Fechner, 2. Aufl. Bd. IV. Taf. X.

nach Süden zu immer größer, bis dieser unter 28° westl. Länge von Paris sein Maximum 14° 10′ erreicht. Darauf geht er dem Erdäquator für einen Augenblick parallel; erhebt sich aber von diesem Maximum an fortwährend wieder durch Südamerika hindurch, bis er um 98° westl. Länge von Paris, im Stillen Meere, 110 Meilen westlich von den Gallopagos-Inseln, dem Erdäquator wieder ganz nahe kommt. Hier aber fängt er an sich zu biegen, wird dem Erdäquator immer mehr parallel, und statt ihn zu durchschneiden, nähert er sich ihm blos bis zur Berührung, um 120° westl. Länge von Paris, worauf er wieder nach Süden zurückweicht, bis er sein zweites Maximum südlicher Abweichung unter 3° 15′ südlicher Breite und 163° westl. Länge von Paris erreicht, d. i. in einem Meridiane, der ziemlich in der Mitte zwischen den Freundschaftsinseln und Societätsinseln liegt. Er nähert sich dann dem Erdäquator wieder, doch sehr allmälig, durchschneidet ihn unter 186° westl. oder 174° östl. Länge von Paris, unweit des Meridians der Mulgraves-Inseln, und erreicht darauf in der Nähe eines der Meridiane, die durch die Philippinen gehen, das erste Maximum seiner nördlichen Breite von 8° 57′. Von hier geht er wieder etwas nach Süden zurück, doch erreicht er bald ein Minimum, in 7° 44′ nördl. Breite, am Eingange des Meerbusens von Siam, etwas südlich von der Insel Condor, unter 106° östl. Länge von Paris. Während er sich nun aufs Neue von dem Aequator weiter nördlich entfernt, zieht er sich durch den Meerbusen von Bengalen, und über die Südspitze Indiens diesseits der Ganges weg, in das Arabische Meer, und hier befindet sich sein zweites Maximum nördl. Breite von 11° 47′ unter 62° östl. Länge von Paris. Darauf nähert er sich dem Aequator aufs Neue, tritt etwas südlich von der Meerenge Babel Mandeb (der Mündung des rothen Meeres) in Afrika ein, geht durch das Innere dieses Festlandes hindurch, um den Aequator zuletzt an der Westküste Afrikas wieder in dem Punkte zu durchschneiden, von welchem wir ausgegangen waren.

Später hat Duperrey *) die Lage der Linie ohne Neigung nach seinen eigenen Beobachtungen und denen anderer Seefahrer ebenfalls bestimmt. Es ergiebt sich hieraus in Vergleich mit dem Morlet'schen Aequator bereits wieder eine Gestaltenänderung der Curve und eben so ein Fortrücken von O nach W. Hierbei ist indessen zu bemerken, daß unter Linie ohne Neigung hier nicht der Duperrey'sche magnetische Erdäquator zu verstehen ist, den er vielmehr dahin legt, wo die Intensität ein Minimum ist, so wie er auch unter dem magnetischen Erdpole den Punkt der Erde versteht, wo die Intensität im Maximum ist **).

So wie sich eine Veränderung in der Lage des magnetischen Aequators herausstellt, ist es auch mit den isoklinischen Linien. Die stattfindende Veränderung übersieht man am leichtesten aus den sogenannten isoklinischen Karten, und da sind diejenigen die brauchbarsten, welche Hansteen in seinem Atlas ***)

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXX. p. 347, vergl. auch Pogg. Ann. Bd. VIII. S. 175.

**) Dove's Repert. der Physik, Bd. II. S. 183, vergl. auch Art. Magnetismus der Erde.

***) Hansteen, Untersuchungen über den Magnetismus der Erde. Christiania 1819. 4. nebst einem Atlas; vergl. auch Gilbert's Ann. Bd. LXV. S. 313, Bd. LXX. S. 36

geliefert hat. Im Allgemeinen zeigt sich auch bei diesen Linien ein Fortrücken von O nach W, wie bei dem magnetischen Aequator.

Da die älteren Inklinationsbeobachtungen weniger Vertrauen verdienen, so ist es jetzt noch unmöglich, das Gesetz der Veränderung der Inklination festzustellen. Um indessen eine Vorstellung dieser Veränderung zu geben, mögen hier Beobachtungen der Neigung von Paris, Berlin und Göttingen eine Stelle finden:

Paris	1671 = 75° 0′	1820 = 68° 20′
	1754 = 72 15	1821 = 68 14
	1776 = 72 25	1822 = 68 11
	1780 = 71 48	1823 = 68 8
	1791 = 70 52	1824 = 68 7
	1798 = 69 51	1825 = 68 0
	1806 = 69 12	1826 = 67 56
	1810 = 68 50	1827 = 67 58
	1812 = 68 42	1828 = 67 50
	1814 = 68 36	1829 = 67 41
	1816 = 68 40	1830 = 67 41
	1817 = 68 38	1835 = 67 24
	1818 = 68 35	1841 = 67 9
	1819 = 68 25	1853 = 66 28
Berlin	1769 = 72° 45′ 54″	1831 = 68° 14′ 3″
	1806 = 69 53 0	1832 = 68 17 25
	1812 = 69 15 37	1836 = 68 6 46
	1824 = 68 50 45	1838 = 68 1 31
	1825 = 68 48 15	1846 = 67 42 44
	1826 = 68 45 45	1850 = 67 44 48
	1828 = 68 37 53	
Göttingen	1805 = 69° 29′ 0″	1841 = 67° 42′ 43″
	1826 = 68 29 26	1842 = 67 39 39
	1837 = 67 47 0	1852 = 67 18 38
	" = 67 53 30	

Die jährliche Veränderung bleibt sich nach diesen Beobachtungen nicht gleich an demselben Orte und ist auch an verschiedenen Orten in denselben Perioden verschieden, z. B. für Paris 3′,8, in Berlin 3′,7. Encke giebt für Berlin die jährliche Aenderung = 3′,5 an. Für Göttingen ergaben die Beobachtungen von 1805 und 1826 eine jährliche Abnahme von 2′,8, für Petersburg beträgt dieselbe fast 3′.

und 110, Bd. LXXXI. S. 273. Ferner: Hansteen, zur Geschichte und Vertheidigung seiner Untersuchungen über den Magnetismus der Erde und kritische Bemerkungen über die hierher gehörigen Arbeiten von Biot und Morlet. Gilbert's Ann. Bd. LXXV. S. 145 und endlich: Hansteen, Versuch einer magnetischen Neigungskarte nach den Beobachtungen auf der letzten englischen Nordpolexpedition unter Cap. Roß und Parry. Pogg. Ann. Bd. IV. S. 277.

Wenn wir hier eine Abnahme der Inklination ersehen, so ist dies jedoch nicht an allen Orten der Erde gleichzeitig der Fall, im Gegentheil nimmt dieselbe an anderen Orten zu gleicher Zeit zu. Schon Hansteen *) hat festgestellt, daß die Inklination in Nordamerika im Westen ab-, im Osten zunehme, in Europa und im nördlichen Asien bis zum Meridian von Irkutzk in gleicher Zeit abnehme, im östlichen Asien und bei Japan wieder zunehme. Eben so weist v. Humboldt **) eine Zunahme auf dem Vorgebirge der guten Hoffnung und zu St. Helena nach, während gleichzeitig im nördlichen Europa eine Abnahme statt hatte. Nach Hansteen ***) betrug im mittleren Theile Europas im Jahre 1780 die Abnahme der Neigung jährlich 5′ und 6′, sank aber bis 1830 auf etwa 3′ herab. Hansteen giebt folgende Zusammenstellung über die jährliche Veränderung:

zu Christiania	1825	= — 3′,56
„ London	1820	= — 3,55
„ Paris	1820	= — 3,47
„ Berlin	1820	= — 3,02
„ Göttingen	1820	= — 3,05
„ Mailand	1817	= — 3,37
„ Florenz	1815	= — 3,30
„ Turin	1815	= — 3,50

Besonders interessant ist aber folgende Zusammenstellung von Hansteen:

Jahr	Jährliche Veränderung			
	Ascension	Vorgebirg d. g. H.	Otaheiti	Manila
1760	— 6′,07	— 7′,93	—	—
1770	— 6,65	— 6,66	—	— 4′,87
1780	— 7,22	— 5,39	— 2′,12	— 1,55
1790	— 7,80	— 4,11	— 1,52	+ 1,77
1800	— 8,38	— 2,81	— 0,92	+ 5,09
1810	— 8,95	— 1,57	— 0,32	+ 8,41
1820	— 9,95	— 0,30	+ 0,28	+ 11,73
1830	— 10,10	+ 0,97	+ 0,88	+ 15,05

Wir sehen hier wie die Abnahme nach Erreichung eines Minimums wieder in eine Zunahme übergeht. So hat auch Rudberg ****) aus Beobachtungen zu Upsala und Stockholm den Schluß gezogen, daß für Upsala mit 71° 41′,5 und für Stockholm mit 71° 40′,0 die Neigung das Minimum erreicht habe. Eben so wird in Göttingen die jährliche Abnahme in 22 bis 23 Jahren um 1 Minute kleiner und beträgt etwa im Jahre

1828	3 Minuten	1873	1 Minuten
1850	2 „	1895	0 „

wo das Minimum 66° 37′ 7″ erreicht sein würde.

*) Gilbert's Ann. Bd. LXXI. S. 273.
**) Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 326.
***) Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 403.
****) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 192 u. Bd. XXXIX. S. 107.

Reiches Material bieten die Resultate des Göttinger Vereins, eben so Dove's Repertorium der Physik Bd. VII. S. CXI bis CLXV; überdies haben wir die magnetischen Constanten auf das Jahr 1850 für eine große Zahl von Orten Europas in dem Artikel Magnetismus der Erde nach Lamont gegeben, auf dessen daselbst näher bezeichnete Karten wir hier nochmals hinweisen.

Die angeführten Veränderungen der Inklination, welche sich nach längeren Zeiträumen herausstellen, nennt man säculare Variationen, die ebenfalls aus den vorhergehenden Zusammenstellungen sich ergebenden Veränderungen von Jahr zu Jahr jährliche Variationen; außerdem ist aber die Inklination, eben so wie die Deklination (s. Art. Abweichung, Bd. I. S. 82), monatlichen und täglichen Veränderungen unterworfen, die man gleichfalls zu den Variationen rechnet. Wenn aber in Beziehung auf die jährlichen Variationen bereits bemerkt wurde, daß das Gesetz noch keineswegs ergründet sei, da namentlich die älteren Inklinations-Bestimmungen nicht sehr zuverlässig sind, so gilt dies noch weit mehr von den monatlichen und täglichen. Ueberhaupt ist zu bemerken, daß die täglichen Variationen erst seit 1722 entdeckt worden sind, und daß man da vorzugsweise seine Aufmerksamkeit auf die der Deklination zunächst richtete. Eine große Reihe hierher gehöriger Versuche hat Kupffer *) angestellt, und sich durch die darauf verwendete Sorgfalt nicht geringe Verdienste um diesen Theil des Magnetismus erworben.

Um die kleinen Veränderungen in der Inklination wahrzunehmen, welche sich im Verlaufe eines Tages herausstellen möchten, erscheinen die bisher gebrauchten Inklinatorien (s. d. Art.) nicht fein genug. Man hat daher besondere Variations-Instrumente für die Inklination zu construiren gesucht. Ein solches Instrument gab Kupffer (a. a. O.) an und Gambey führte dasselbe aus. Die Nadel ist einen halben Meter lang und trägt an beiden Enden kleine Ringe von Messing, in denen ein Faden nach der Länge der Nadel ausgespannt ist. Die Axe der Nadel ist eigenthümlicher Art; sie besteht aus einem hohlen Halbcylinder, in dessen Innerem ein dreiseitiges Prisma befestigt ist, so daß die scharfe Kante desselben so genau als möglich mit der Axe des Cylinders zusammenfällt. Durch ein Gegengewicht ist das Prisma in der Art äquilibrirt, daß der Schwerpunkt der Nadel in der Schärfe des Prisma liegt, und um dies bewirken zu können, ist dasselbe durch Schrauben befestigt, so daß es nach allen Seiten hin verschoben werden kann. Das Prisma ruht auf zwei Achatplatten. Auf die Fäden der Nadel sind zwei Mikroskope mit beweglichem Fadenkreuze gerichtet, wo eine ganze Umdrehung der in 100 Theile getheilten Schraube 5,7 im Bogen beträgt. Die Bewegung der Nadel erfolgt nur innerhalb ziemlich enger Grenzen, aber wegen der beträchtlichen Länge lassen sich auch kleine Unterschiede wahrnehmen. — Kupffer verglich den Stand seiner Variationsnadel von Zeit zu Zeit mit einem gewöhnlichen Instrumente und fand, daß zwischen beiden nach einem längeren Zeitraume keine Uebereinstimmung stattfand **). — Dergleichen Inklinatorien sind besonders ausgeführt später von Robinson, und nach dessen Tode auf Veranlassung von Gauß mit noch einigen Verbesserungen von Meyerstein ***).

*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 193.
**) Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 405 u. 406.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 119.

Ein zweites Variations-Instrument hat Kreil *) angegeben, doch bietet die Anfertigung zu große Schwierigkeiten dar.

Ein drittes Variations-Instrument ist von Lloyd **). Das Instrument besteht aus einer freien Nadel, welche durch den, in einem verticalen weichen Eisenstabe, von der Erde inducirten Magnetismus vom magnetischen Meridian abgelenkt wird, und die Aenderung der Inklination wird aus den Aenderungen des Ablenkungs-Winkels berechnet. Die technische Ausführung bietet nicht so viel Schwierigkeiten dar, als bei den beiden vorhergehenden Instrumenten. An einem cylindrischen Magnete, von einem Viertelzoll im Durchmesser und drei Zoll Länge, sitzt an dem Bügel, durch welchen er aufgehängt ist, ein Spiegel, mittelst dessen die verschiedene Lage des Magneten nach der Gauß'schen Methode (s. Artikel Magnetometer) aus der Ferne durch ein Fernrohr beobachtet wird. Der Spiegel ist vertical und um eine Axe drehbar, so daß er in jede erwünschte Lage gegen das beobachtende Fernrohr gestellt werden kann; er ist kreisrund und hält $^3/_4$ Zoll im Durchmesser. Der bewegliche Theil des Bügels, an welchem er befestigt ist, hat die Form eines Kreuzes und er wird mittelst dreier Schrauben nahe an den Enden der Arme des Kreuzes vertical gestellt und durch die hervorragenden Köpfe der Schrauben gehalten. Durch Federn an seiner Rückseite wird der Spiegel mit diesen Köpfen in Berührung gehalten.

Die Büchse ist achtseitig; der Abstand zwischen zwei gegenüberstehenden Seiten beträgt 4 Zoll, und der zwischen Deckel und Boden zwei Zoll. Deckel und Boden, so wie die verbindenden Stifte sind von Kanonenmetall. Die 8 Seiten sind durch bewegliche Stücke verschlossen, drei von Glas, die übrigen von Ebenholz. Auf dem Deckel sitzt ein aufrechtes Glasrohr von 8 Zoll Länge, welches den Hängefaden einschließt. Der Apparat zum Aufhängen oben an der Röhre ist von gewöhnlicher Construction. Das kreisrunde Stück, an welchem er festsitzt, ist drehbar und auswendig von 5° zu 5° getheilt, um die Torsionswirkung des Fadens zu bestimmen.

Die Basis des Instruments ist ein Kreis von Kanonenmetall, der 6 Zoll Durchmesser hält und am Rande graduirt ist. Mit diesem Kreise ist die Büchse durch einen kurzen conischen Stift verbunden, und dieser bildet die Axe einer zweiten Platte, welche auf der festen drehbar ist. Diese bewegliche Platte trägt zwei Verniers, durch welche der Drehungswinkel bis auf Minuten abgelesen werden kann. An dieser Platte sitzen zwei leicht gegen einander geneigte röhrenförmige Arme, und deren vordere Enden sind verbunden mit einem Kreuzstücke, welches, 18 Zoll vom Spiegel entfernt, eine kurze Scala trägt. Dieser Theil des Apparats dient zur Bestimmung der totalen Ablenkungswinkel.

Der weiche Eisenstab ist ein Cylinder, 12 Zoll lang und drei Viertelzoll im Durchmesser. Eins seiner Enden ist in einem hohlen Messingcylinder eingelassen und dieser mit einem horizontalen Stifte versehen, der sich in einem festen Fuße dreht. Die Axe dieses Stiftes liegt in der durch das Centrum des aufgehängten

*) I. Supplemento alle Effemeridi astron. di Milano; vergl. auch: Prager Beobachtungen, Bd. I.

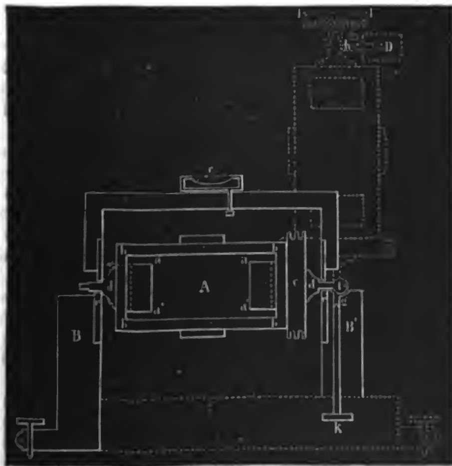
**) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 441. Proceedings of the R. Irish Acad. 1842.

Magneten gehenden Linie, und ist senkrecht gegen den magnetischen Meridian, so daß also der Stab in der Ebene dieses Meridians drehbar ist. Die Axe des Stabes ist vom Mittelpunkte des Magnets etwa 5 Zoll entfernt, und der Stab ist so gestellt, daß der eine Pol in Richtung der Axe des Stiftes liegt, also während der Drehung des Stabes unbeweglich bleibt.

Die Aenderungen in der Lage des aufgehängten Magneten werden von weitem mittelst eines festen Fernrohrs und einer Scala beobachtet (s. Art. Magnetometer). Die Scala, deren Abtheilungen durch den Spiegel reflectirt werden, ist über dem Fernrohre nahe dem Oculare an dem Gestelle befestigt.

Endlich hat W. Weber, wie bereits im Art. Inklinatorium, Bd. IV. S. 96 bemerkt ist, ein Inductions-Inklinatorium construirt, dessen Einrichtung wir hier noch näher anzugeben haben, da an der angeführten Stelle nur das Princip bezeichnet werden konnte, auf welches sich der Apparat gründet.

Wir liefern im Folgenden die von Weber gegebene Beschreibung seines Instruments *). In beistehender Figur stellt A einen Inductor im Querschnitte



dar. Der Umfang der Cylinderfläche, auf welche der Draht aufgewickelt ist, deren Durchmesser aa = a'a' ist, betrug 718,3 Millimeter, und die Breite aa' = 120,05 Millimeter. Hierauf war ein mit Baumwolle umsponnener und mit Guttapercha überzogener Kupferdraht gewunden von 542296 Millimeter Länge

*) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 242.

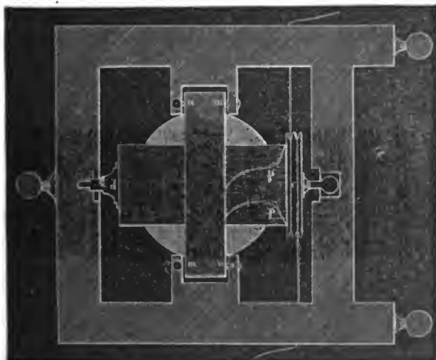
und 22435 Gramm Gewicht, wovon das Gewicht der Wolle und der Guttapercha nahe 2615 Gramm betrug; das Gewicht des Kupfers also 19820 Gramm. Ein 1 Millimeter langes Stück des Drahtes wiegt hiernach 36,55 Milligramm. Das specifische Gewicht des Kupfers (bei 0° Temp.) gegen Wasser (bei 4°,1 C. Temp.) war 8,8178, der Querschnitt des Drahtes folglich im Mittel = 4,145 Quadratmillimeter. Dieser Draht bildete 605 Umwindungen in 18 Schichten über einander. Der Umfang einer die letzte Schicht umschließenden Cylinderfläche war = 1078,6 Millimeter. Die Summe endlich der von den Projectionen aller dieser Windungen auf die Basis des Cylinders umschlossenen Kreisflächen war 39216930 Quadratmillimeter groß.

Diese Rolle war von einem starken hölzernen Rahmen b b b b fest umschlossen, von dessen Ende eine hölzerne Rolle c mit zwei kreisförmigen Rinnen sich befand, in welchen die beiden Verbindungsdrähte des Inductors mit dem Multiplicator lagen. An diesem Rahmen waren zwei starke Messingzapfen d, d' angebracht. Die beiden Zapfen waren genau cylindrisch und von gleichem Durchmesser und lagen auf γ-förmigen Pfannen e, e', welche an den Balken des Gestelles B, B' befestigt waren. Die Figur zeigt die Inductorrolle in der Stellung, wo sie um eine horizontale Axe gedreht werden kann. Zur Prüfung der Horizontalität der Drehungsaxe wurde eine Libelle C gebraucht, deren Fassung mit zwei γ-förmigen Füßen versehen war, mit welchen sie auf die beiden Zapfen, welche die Drehungsaxe bildeten, aufgestellt werden konnte, wie es bei der Nivellirung eines Theodoliths geschieht. Am Ende des Zapfens d' befindet sich eine Messingkugel mit einer bei Abdrehung des Zapfens zugleich eingedrehten conischen Vertiefung bei f. Diese Kugel dient dazu, die Umstellung der Inductorrolle, durch welche ihre Drehungsaxe aus der horizontalen in die verticale Lage gebracht wird, bequem auszuführen. Wird nämlich die Libelle C abgenommen, so kann die Inductorrolle A beim Zapfen d gehoben werden, und es senkt sich alsdann die Kugel am Zapfen d' in eine kugelförmige Pfanne, welche bei g im Balken B' angebracht ist. Ist die Drehungsaxe auf diese Weise in die verticale Stellung gebracht worden, wobei die Inductorrolle die in der Figur mit punktirten Linien angedeutete Stellung erhält, so legt sich der gehobene Zapfen d in eine γ-förmige Pfanne h, welche am Balken des Gestelles D angebracht ist, und wird durch den Druck einer Feder, welche durch eine Schraube regulirt wird, darin festgehalten. In dieser Lage greift nun eine Schraubenspitze in die conische Vertiefung der Kugel am Zapfen d' ein, womit die Inductorrolle gehoben wird, so daß sie frei auf dieser Spitze zu stehen kommt. Es ist nämlich der Balken B' vertical durchbohrt und der Kopf der Schraube befindet sich bei k unter dem Balken, wo die Schraube gedreht werden kann. Darauf wird auf den Zapfen d der Libellen-Träger II gestellt, auf welchen die Libelle gestellt werden kann, um die Verticalität der Drehungsaxe zu prüfen.

Die umstehend folgende Fig. I. stellt die Inductorrolle in horizontaler Lage von oben gesehen dar. Die Inductoraxe, d. h. die Axe der Cylinderfläche, auf welche der Draht gewunden ist, steht auf der Ebene der Figur senkrecht. Senkrecht gegen den Rahmen, an welchem die Zapfen d, d' sich befinden, ist ein zweiter Rahmen m m um die Inductorrolle gelegt, welcher bei n, n zwei starke Messingstifte trägt, welche bei der Drehung der Inductorrolle auf feste an den Balken des Gestelles angebrachte Schrauben schlagen, und dadurch die Inductoraxe am Ende jedes Inductionsstoßes in verticaler Lage festhalten. Der eine dieser beiden Stifte,

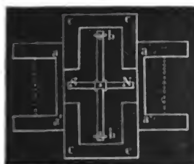
welcher sich bei dieser Drehung im oberen Halbkreise bewegt, schlägt an diese Schrauben von oben an, der andere, welcher sich im unteren Halbkreise bewegt, von unten. Diese Schrauben können in verticaler Richtung etwas verstellt und

I.



nach berichtigter Stellung festgeklemmt werden. Die richtige Stellung dieser Schrauben wird dadurch gefunden, daß man einen solchen Bogen sucht, um welchen die Inductorrolle gedreht werden muß, damit die dadurch inducirten Ströme sich aufheben. Die Stellung der Inductorrolle, welche der Mitte dieses Bogens entspricht, ist die Stellung, bei welcher die Messingstifte an ihre Unterlage schlagen sollen. Die beiden Enden des Inductordrahts sind von der Inductorrolle zu den Klemmen p, p geführt und daselbst befestigt. Von diesen Klemmen gehen die Verbindungsdrähte über die Rolle c zu dem Multiplicator.

II.



Nebenstehende Fig. II. stellt die Multiplicatorrolle nebst Magnetnadel im Querschnitt dar. Der Umfang der Cylinderfläche, auf welche der Draht gewickelt ist, deren Durchmesser a a = a' a' ist, betrug 1027,4 Millimeter, und die Breite a a' = 225,6 Millimeter. Hierauf waren neben einander zwei mit Baumwolle umsponnene und mit Guttapercha überzogene Kupferdrähte, jeder von 992656 Millimeter Länge und beide zusammen von 80642 Gramm Gewicht gewunden, wovon das Gewicht der Wolle und der Guttapercha nahe 9363 Gramm betrug; das Gewicht des Kupfers also 71279 Gramm. Ein 1 Millimeter langes Stück jedes Drahtes wog also etwa 35,9 Milligramm. Das specifische Gewicht des Kupfers (bei 0° Temp.) gegen Wasser (bei 4°,1 C. Temp.) war 8,7908, wonach der Querschnitt beider Drähte zusammengenommen = 8,1682 Quadratmillimeter war. Jeder von diesen bei-

den Drähten bildete 779 Umwindungen in 25 Schichten über einander. Der Umfang einer die letzte Schicht umschließenden Cylinderfläche war = 1523,4 Millimeter. Setzt man

$$1027{,}4 = 2\pi a', \quad 1523{,}4 \; 2\pi a'' \text{ und } 225{,}6 = 2b'',$$

so erhält man als mittleren Halbmesser der Multiplicatorwindungen *) 230,8 Millimeter.

In der Mitte dieses Multiplicators hängt die Magnetnadel NS an einem prismatischen Stifte, welcher durch das Querstäbchen bb geschoben und darin festgeschraubt wird. Von den Enden dieses Querstäbchens, welche auf beiden Seiten der Multiplicatorrolle hervorragen, gehen zwei dünne Verbindungsstäbchen in die Höhe zu dem über dem Multiplicator an einem feinen Drahte hängenden Querstäbchen, an welchem Spiegel und Torsionskreis angebracht sind. Der vom Multiplicator umschlossene Raum, in welchem die Nadel schwebt, wird endlich von beiden Seiten mit Deckeln cccc verschlossen.

Die beistehende Figur stellt einen Durchschnitt des Galvanometers in der Richtung des magnetischen Meridians dar. Ueber dem Multiplicator schwebt das Querstäbchen d, welches, wie das durch den Multiplicator gehende Stäbchen b, senkrecht gegen die Ebene der Figur gerichtet ist. Beide sind durch dünne verticale Stäbchen an ihren Enden vor und hinter dem Multiplicator verbunden. Mit dem Stäbchen d ist der Spiegel e durch einen γ-förmigen Haken verbunden, und über dem Spiegel, eben so verbunden, befindet sich der an einem dünnen Drahte aufgehangene Torsionskreis f (vergl. Art. Magnetometer). Der Raum, in welchem d, e, f sich befinden, ist mit einem Gehäuse umgeben, welches nach vorn und hinten über den Multiplicator hervorragt und auf beiden Seiten bis zu den Deckeln cccc der vorigen Figur herabreicht, wodurch dieser mit dem vom Multiplicator umschlossenen zusammenhängenden Raum bis auf die kleine Oeffnung, durch welche der dünne Draht geht, ganz verschlossen wird. In diesem Gehäuse ist in der vor dem Spiegel liegenden Wand ein paralleles Planglas zur Beobachtung des Scalenbildes im Spiegel mit dem Fernrohr eingesetzt. Der Multiplicatorrahmen endlich hat eine sechseckige Gestalt und steht mit der nach unten gekehrten Seite dieses Sechsecks auf einem steinernen Postamente A.



Die umstehende Figur stellt Inductor, Galvanometer, nebst Fernrohr und Scala in ihrer gegenseitigen Lage im Grundriß dar. A bezeichnet das Fernrohr nebst Scala, B das Galvanometer, C den Inductor, welcher auf 3 Schraubenfüßen a, b, c steht, die zur Berichtigung der beiden Stellungen der Drehungsaxe der Inductorrolle, nämlich der verticalen und der horizontalen gebraucht werden.

*) Weber's Abhandlungen über elektrodynamische Maßbestimmungen, Leipzig 1852. II. Art. 16 und Beilage D.

Der Beobachter hat während der Beobachtung die Drehung der Inductorrolle **mit dem Fuße zu machen**, wozu eine besondere Einrichtung nach Bequemlichkeit zu **treffen ist.**

Dasselbe gilt von der Einrichtung, um die beiden Verbindungsdrähte zwischen **Inductor und** Multiplicator am Fernrohrstative unmittelbar vor dem Beobachter vorbeizuführen und sie da nach Belieben mit Hülfe einer Klemme bald zu isoliren, bald zu verbinden.



Zu bloßen Messungen der Inklination können übrigens alle Dimensionen des Multiplicators ohne Nachtheil wenigstens um die Hälfte verkleinert werden, wozu dann nur der achte Theil des Drahtes erforderlich sein würde. Die Genauigkeit der Inklinationsmessung würde dadurch sogar gewinnen, da die zu beobachtende Ablenkung der Nadel im Verhältniß von 1 zu $\sqrt{2}$ vergrößert würde. Gäbe man dem Multiplicator eine elliptische Gestalt, wobei die Nadelaxe die Richtung der großen Axe der Ellipse erhielte, so könnte man vielleicht das Verhältniß mehr als verdoppeln. Bei zu großer Ablenkung in diesem Falle könnte man zum Inductor weniger Draht nehmen, wo sich dann auch die Drehung der Inductorrolle noch leichter und bequemer ausführen ließe. Weber hat die angegebenen Dimensionen und die Kreisform gewählt, um in dem Apparate zugleich einen festen und unveränderlich bleibenden Normalwiderstandsmesser für galvanische Ketten zu gewinnen.

Zum Verständnisse dieses Inductions-Inklinatorium dienen folgende Nachweise: Die magnetische Kraft der Erde kann benutzt werden elektrische Ströme zu induciren *). Die Tangente des Ablenkungswinkels in dem Apparate muß der Tangente der Inklination proportional sein (a. a. O. S. 21).

Die Beobachtung geschieht nun in folgender Weise: Nach Aufstellung des Magnetometers und Multiplicators wird die Stellung des Inductors so regulirt, daß 1) seine eigene Axe horizontal und dem magnetischen Meridiane parallel gerichtet ist, 2) daß die Axe, um welche diese Rolle 180° vorwärts oder rückwärts gedreht werden kann, genau vertical steht. Die Magnetometernadel im Multiplicator steht beim Beginn der Versuche im magnetischen Meridiane ganz in Ruhe, was durch die Dämpfungskraft des Multiplicators bewirkt wird, welche man dadurch verstärkt, daß man die beiden Drahtstücke, durch welche Multiplicator und Inductor zusammenhängen, mit einander durch eine kupferne Klammer verbindet und dadurch den Multiplicator in sich selbst abschließt. Ist die Nadel in Ruhe, so wird die zu schnellerer Dämpfung gebrauchte Klemme entfernt und darauf der erste (positive) Inductionsstoß mit dem Inductor gegeben, d. h. der Inductor wird rasch um 180° gedreht. Die durch diesen Inductionsstoß in Bewegung gesetzte Nadel entfernt sich von dem magnetischen Meridiane und erreicht nach

*) Art. Induction, elektrische. Bd. IV. S. 19 ff.

einer Anzahl von Secunden, z. B. 9, wenn die ganze Schwingungsdauer 18 Sec. beträgt, das Maximum ihrer östlichen oder westlichen Ablenkung, was von dem Beobachter, nach vorher bemerktem Ruhestande der Nadel, aufgezeichnet wird. Hierauf geht die Nadel ungefähr in derselben Zeit zurück bis zu dem magnetischen Meridiane und in demselben Augenblick, in welchem sie durch den magnetischen Meridian gehen will, erfolgt der zweite (negative) Inductionsstoß, indem der Inductor wieder 180° zurückgedreht wird, wodurch die Nadel in ihrer Rückwärtsbewegung beschleunigt wird. Die so beschleunigte Nadel erreicht darauf nach derselben Zeit das Maximum ihrer westlichen oder östlichen Ablenkung, welches wiederum aufgezeichnet wird u. s. f. In Zeit von 5 Minuten kann man etwa 16 Stöße geben, also 16 Beobachtungen machen.

Nach der letzten Beobachtung wird sogleich die Klemme zur Verstärkung der Dämpfungskraft des Multiplicators wieder geschlossen und während der Beruhigung der Nadel der Inductor umgestellt und so regulirt, daß 1) seine eigene Axe vertical steht, 2) die Axe, um welche er 180° vorwärts oder rückwärts gedreht werden kann, von nun an eine genau horizontale, dem magnetischen Meridiane parallele Lage erhält. Nach Entfernung der Klemme erfolgt eine zweite Beobachtungsreihe, eben so wie die erste, und dieselbe wird noch einige Mal wiederholt, in Zwischenzeiten von 10 Minuten, welche zur Beruhigung der Nadel nöthig sein werden. Auf diese bei gleicher Stellung des Inductors ausgeführten Beobachtungsreihen folgt dann noch eine letzte, bei welcher wieder dieselbe Stellung des Inductors wie bei der ersten hergestellt wird.

Weber erhielt auf solche Weise folgende Resultate in Göttingen 1852. Aug. 3. $0^h\ 20' - 1^h\ 40'$. Die einzelnen Beobachtungsreihen sind mit A, B, C, D, E und F bezeichnet, Nr. 0 giebt den ursprünglichen Ruhestand der Nadel, Nr. 1 bis 16 die beobachteten Elongationen, A und F enthalten die Beobachtungen in der ersten, B, C, D und E in der zweiten Stellung:

Stand der Nadel bei der beobachteten Elongation in Scalentheilchen.

Nr.	A	B	C	D	E	F
0	1236,2	1235,1	1234,4	1233,8	1233,7	1233,3
1	1195,0	1335,2	1334,9	1334,9	1333,8	1192,2
2	1313,8	1052,7	1052,0	1051,0	1050,1	1310,7
3	1131,1	1488,9	1488,3	1488,0	1487,0	1128,4
4	1367,4	922,8	921,9	920,9	920,1	1364,4
5	1085,6	1596,8	1597,5	1597,1	1595,9	1083,0
6	1405,3	830,4	829,7	828,7	827,9	1402,8
7	1053,2	1674,6	1674,6	1673,8	1672,6	1050,9
8	1432,0	764,9	764,0	762,9	762,0	1429,8
9	1030,8	1728,8	1728,9	1728,0	1726,9	1028,1
10	1450,9	717,9	717,0	715,9	715,2	1448,9
11	1014,7	1767,8	1768,0	1767,0	1766,1	1012,1
12	1464,0	684,3	684,0	683,0	682,1	1462,2
13	1003,1	1795,4	1795,4	1794,6	1793,9	1000,6
14	1473,4	661,0	660,6	659,8	659,0	1471,8
15	996,9	1815,0	1814,9	1814,2	1813,6	993,2
16	1479,8	644,3	644,2	643,0	642,4	1478,2

Zieht man nun den unter Nr. 0 angegebenen Ruhestand von den beobachteten Elongationen unter Nr. 1 bis 16 in jeder Beobachtungsreihe ab, so erhält man die entsprechenden Elongationsweiten der Nadel. An diesen hat man noch eine Correction anzubringen und dann giebt jede in den Columnen B, C, D und E enthaltene Beobachtung eine Bestimmung der Tangente der Inklination, wenn man sie mit dem Mittel aus den beiden unter A und F enthaltenen Beobachtungen dividirt. Die Correction kann man auch an der Summe der Beobachtungen der einzelnen Beobachtungsreihen anbringen und erhält dann einen noch genaueren Werth der Tangente der Inklination, wenn man die Summe jeder Beobachtungsreihe B, C, D und E durch das Mittel aus den Summen der beiden Reihen A und F dividirt. Auf die letzte Art erhielt Weber die Inklination

67° 19′ 26″
67 20 18
67 20 53
67 20 38.

Um eine Vorstellung von den Inklinations-Aenderungen während eines ganzen Tages zu geben, theilen wir folgende Beobachtungen mit, welche Kupffer mit Lenz angestellt hat *).

Petersburg 1830.

	Inklination		Inklination		Inklination
30. Aug. 8h	5,890	31. Aug. 2h	5,925	31. Aug. 20h	6,160
9	5,620	3	5,880	21	6,075
10	5,755	4	5,925	21½	6,325
11	4,585	5	5,865	21¾	6,230
12	5,900	6	6,025	22	6,355
13	5,925	7	5,990	23	6,265
14	5,925	8	5,775	1. Sptbr. 0	6,215
15	5,925	9	5,660	1	6,015
16	5,925	10	5,130	2	5,770
17	6,070	11	5,850	3	5,760
18	5,970	12	5,975	4	5,725
19	6,065	13	6,445	5	5,790
20	6,250	14	5,595	6	5,865
21	6,525	15	5,945	7	5,875
22	6,300	16	5,945	8	5,870
23	6,150	17	5,935	9	5,890
31. Aug. 0	6,175	18	5,965	10	5,915
1	6,115	19	6,030	21	6,315

*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 193.

Eine Vorstellung von den Variationen während ganzer Monate wird folgende Zusammenstellung gewähren.

Petersburg 1831.

	Größte Variation	Maximum Morgens	Minimum Abends		Größte Variation	Maximum Morgens	Minimum Abends
Mai	Minuten			September	Minuten		
1	3,9	11^h	9^h	1	1,4	$9\frac{1}{2}^h$	$9\frac{1}{2}^h$
2	4,4	$10\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{4}$	2	0,7	$9\frac{1}{4}$	$9\frac{1}{2}$
3	3,8	$11\frac{1}{4}$	$9\frac{1}{2}$	3	4,3	$9\frac{1}{2}$	9
4	5,2	$10\frac{1}{2}$	5	4	3,2	11	$9\frac{1}{2}$
5	3,4	$9\frac{3}{4}$	$10\frac{1}{2}$	5	2,1	$9\frac{1}{2}$	11
7	2,0	$9\frac{1}{2}$	9	6	1,7	$9\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{2}$
8	1,8	$10\frac{1}{2}$	9	7	2,5	$9\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{2}$
9	3,6	$9\frac{1}{2}$	10	8	3,0	$9\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{2}$
10	3,0	$9\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{4}$	9	0,5	9	9
11	4,0	$10\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	10	2,1	10	$9\frac{1}{2}$
12	2,7	9	$9\frac{1}{4}$	11	2,2	10	$9\frac{1}{2}$
13	3,9	9	$9\frac{1}{2}$	12	3,9	10	$9\frac{1}{2}$
14	2,4	9	9	13	1,3	9	$9\frac{1}{2}$
15	1,6	$9\frac{1}{4}$	$9\frac{1}{4}$	14	1,1	8	10
16	3,8	9	7	15	2,7	9	$9\frac{1}{2}$
17	1,1	$9\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{2}$	16	2,3	$9\frac{3}{4}$	$9\frac{1}{2}$
19	3,1	$9\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	17	0,5	9	8
20	1,6	$11\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{2}$	18	2,2	9	9
21	3,9	$10\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{4}$	19	1,2	$10\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{2}$
22	6,3	10	$5\frac{1}{2}$	20	1,0	8	9
24	3,4	10	$5\frac{1}{2}$	21	2,0	$13\frac{1}{2}$	10
25	3,4	9	4	25	2,3	11	9
26	1,6	$9\frac{1}{2}$	9	26	0,2	10	$9\frac{1}{4}$
28	3,3	10	6	27	0,2	$10\frac{3}{4}$	9
29	4,2	$\frac{1}{4}$	8	28	2,2	9	10
30	3,6	$9\frac{1}{4}$	6	29	0,7	9	$11\frac{1}{2}$
31	4,3	$9\frac{1}{2}$	5	30	0,4	$9\frac{1}{2}$	11

Tägliche Bewegung der Inklination zu München, in Minuten ausgedrückt nach Lamont.

Mittlere Zeit	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septbr.	October	Novbr.	Decbr.
1843. 13ʰ 6',7	—	0',00	0',00	0',00	0',25	0',15	0,'00	0',00	0',46	0',32	0',45	0',79
14 6,7	—	0,15	0,04	0,00	0,40	0,34	0,15	0,27	0,40	0,42	0,47	0,74
16 6,7	—	0,19	0,09	0,20	0,51	0,27	0,23	0,29	0,39	0,28	0,22	0,36
18 6,7	—	0,10	0,08	0,28	0,72	0,61	0,56	0,99	0,62	0,00	0,16	0,09
19 6,7	—	0,03	0,05	0,35	1,22	1,03	0,86	1,12	1,11	0,45	0,00	0,00
20 6,7	—	0,03	0,29	0,52	1,61	1,60	1,39	1,81	1,74	1,10	0,41	0,02
21 6,7	—	0,32	0,56	1,00	1,78	2,14	1,79	2,18	2,20	1,61	0,79	0,36
22 6,7	—	0,44	0,92	1,14	1,57	2,19	2,11	2,51	2,52	1,83	0,98	0,89
23 6,7	—	0,64	0,99	0,94	1,39	1,93	2,12	1,99	2,38	1,95	1,16	1,05
0 6,7	—	0,75	0,63	0,66	0,92	1,70	1,72	1,25	1,82	1,78	0,99	0,91
1 6,7	—	0,52	0,42	0,44	0,62	1,17	1,25	0,95	1,64	1,54	0,83	1,05
2 6,7	—	0,53	0,29	0,56	0,44	0,99	1,11	0,86	1,67	1,35	0,94	1,79
3 6,7	—	0,68	0,41	0,70	0,55	0,74	0,58	0,86	1,55	1,33	0,98	1,29
4 6,7	—	0,73	0,52	0,73	0,60	0,71	0,62	0,83	1,56	1,43	1,07	1,02
5 6,7	—	0,76	0,52	0,65	0,37	0,63	0,56	0,64	1,48	1,24	0,89	1,29
6 6,7	—	0,74	0,55	0,54	0,28	0,57	0,40	0,31	1,44	0,85	0,76	1,14
7 6,7	—	0,96	0,59	0,62	0,00	0,15	0,38	0,18	0,77	0,35	0,76	1,32
8 6,7	—	0,53	0,42	0,51	0,11	0,09	0,36	0,09	0,72	0,51	0,78	1,09
9 6,7	—	0,26	0,17	0,32	0,23	0,02	0,19	0,14	0,40	0,37	0,71	1,00
10 6,7		0,30	0,08	0,16	0,17	0,00	0,02	0,01	0,00	0,23	0,69	0,92
12 6,7		0,17	0,09	0,17	0,34	0,07	0,15	0,25	0,43	0,61	0,63	0,54
1844. 13 6,7	0,68	0,31	0,13	0,00	0,22	0,28	0,27	0,02	0,18	0,32	0,36	0,59
14 6,7	0,67	0,51	0,51	0,10	0,34	0,24	0,25	0,29	0,28	0,27	0,55	0,55
16 6,7	0,37	0,33	0,29	0,34	0,51	0,27	0,23	0,44	0,00	0,00	0,26	0,32
18 6,7	0,03	0,07	0,38	0,02	0,67	0,60	0,59	0,92	0,44	0,09	0,24	0,00
19 6,7	0,00	0,03	0,25	0,56	0,96	0,99	0,95	1,31	0,98	0,52	0,00	0,03
20 6,7	0,11	0,01	0,54	1,09	1,27	1,46	1,49	2,07	1,78	1,08	0,38	0,02
21 6,7	0,48	0,00	0,95	1,52	1,59	1,80	1,77	2,13	2,12	1,72	0,71	0,23
22 6,7	0,78	0,29	1,10	1,63	1,40	1,85	1,85	2,22	2,17	2,11	1,06	0,52
23 6,7	0,16	0,51	1,14	1,34	1,03	1,40	1,65	1,76	2,14	2,14	1,45	0,68

Mittlere Zeit		Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septbr.	October	Novbr.	Decbr.
1844. 0h	6',7	0',48	0',51	0',92	1',10	0',72	1',38	1',26	1',18	1',50	1',68	1',66	0',72
1	6,7	0,76	0,48	0,90	0,93	0,62	1,01	0,83	0,98	1,10	1,52	1,40	0,81
2	6,7	0,70	0,31	0,86	0,74	0,70	0,66	0,59	0,76	0,90	1,33	1,55	1,34
3	6,7	0,68	0,53	1,13	0,85	0,63	0,56	0,50	0,72	1,02	1,45	1,50	1,39
4	6,7	0,79	0,82	1,03	1,15	0,84	0,75	0,74	0,76	1,30	1,55	1,52	1,44
5	6,7	0,75	0,82	0,99	0,97	0,43	0,78	0,78	0,90	1,11	1,23	1,52	1,39
6	6,7	0,78	0,80	0,66	0,74	0,38	0,47	0,62	0,59	0,92	1,00	1,29	1,14
7	6,7	0,71	0,67	0,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	6,7	0,82	0,46	0,17	0,32	0,00	0,04	0,00	0,14	0,30	0,99	0,75	1,21
9	6,7	0,79	0,42	0,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	6,7	0,71	0,19	0,06	0,16	0,06	0,08	0,22	0,06	0,29	0,53	0,56	0,90
11	6,7	—	—	—	0,05	0,06	0,00	0,17	0,00	0,26	0,31	0,41	0,88
12	6,7	0,64	0,38	0,17	0,07	0,19	0,23	0,28	0,09	0,23	0,24	0,35	0,71
1845. 13	6,7	0,86	0,18	0,12	0,17	0,21	0,16	0,11	0,27	0,13	0,12	0,62	—
14	6,7	0,83	0,37	0,15	0,27	0,15	0,28	0,18	0,34	0,02	0,06	0,58	—
16	6,7	0,39	0,43	0,13	0,30	0,37	0,30	0,29	0,52	0,21	0,00	0,24	—
18	0,7	0,15	0,10	0,38	0,46	0,90	0,79	0,76	0,99	0,46	0,07	0,00	—
19	6,7	0,10	0,00	0,42	0,81	1,29	1,36	1,18	1,63	1,22	0,32	0,00	—
20	6,7	0,00	0,19	0,80	1,35	1,66	2,06	1,80	2,75	2,12	0,88	0,35	—
21	6,7	0,24	0,52	1,33	1,90	1,72	2,35	2,27	3,06	2,59	1,54	0,91	—
22	6,7	0,40	1,10	1,66	2,14	1,47	2,14	2,35	3,03	2,58	1,75	1,57	—
23	6,7	0,78	0,94	1,60	2,01	1,07	1,53	1,89	2,44	2,38	1,51	1,60	—
0	6,7	0,43	0,81	0,93	1,32	0,80	1,05	1,26	1,90	1,83	1,52	1,68	—
1	6,7	0,43	0,66	0,67	1,21	0,69	0,53	0,94	1,47	1,65	1,33	1,53	—
2	6,7	0,63	0,82	0,88	1,05	0,88	0,50	0,60	1,04	1,54	1,28	1,51	—
3	6,7	1,05	0,87	0,74	0,89	0,66	0,23	0,60	1,13	1,66	1,48	1,63	—
4	6,7	1,18	1,05	0,95	0,81	0,49	0,46	0,56	1,19	1,51	1,36	1,42	—
5	6,7	1,23	1,12	1,11	0,67	0,42	0,61	0,80	1,18	1,47	1,05	1,36	—
6	6,7	1,01	0,93	0,93	0,68	0,34	0,45	0,53	0,93	1,09	0,79	1,02	—
8	6,7	0,90	0,45	0,38	0,12	0,00	0,00	0,00	0,14	0,36	0,36	0,92	—
10	6,7	0,65	0,22	0,05	0,06	0,05	0,02	0,04	0,00	0,15	0,13	0,66	—
11	6,7	0,55	0,06	0,00	0,00	0,24	0,10	0,21	0,23	0,18	0,09	0,57	—
12	6,7	0,46	0,08	0,08	0,12	0,28	0,11	0,13	0,07	0,00	0,14	0,57	—

Kupffer schließt aus seinen Beobachtungen:

1) Die Neigung hat ihr Maximum um 10^h Morgens,
   " " " " Minimum um 10^h Abends. Jedoch ist die Stunde des Maximum beständiger, als die des Minimum, welche bisweilen, besonders im Sommer, schon um 5 Uhr Nachmittags eintritt.
2) Die tägliche Variation ist im Sommer größer als im Winter, wo sie fast ganz verschwindet.
3) Die Neigung verändert sich zuweilen plötzlich, wie die Abweichung, und zeigt auch noch am folgenden Tage auffallende Unregelmäßigkeiten.

In Betreff der plötzlichen Aenderungen oder der Störungen der Inklinationsnadel verweisen wir auf das in dem Artikel Abweichung der Magnetnadel Angeführte, namentlich auf Bd. I. S. 93 bis 98. Hier erwähnen wir nur zur näheren Bestätigung einiger weniger Fälle *). Bei einem Nordlichte zeigte im Jahre 1827 die Neigungsnadel am 9. Januar zu Kendal unregelmäßige Schwingungen, am 28. August zu Roxburgshire eine auffallende Unruhe und am 25. September zu St. Cloud eine Vergrößerung ihres Neigungswinkels. Als historische Notiz sei noch bemerkt, daß bereits Wilke **) die Beobachtung machte, wie vorübergehende Störungen, welche auf die Magnetnadel überhaupt einen Einfluß ausüben, auch an der Neigungsnadel temporäre unregelmäßige Schwankungen hervorbringen.

Eine Beobachtung v. Humboldt's verdient noch besonders aufgezeichnet zu werden, indem dieselbe für eine Aenderung der Neigung in der Tiefe im Verhältniß zu der an der Erdoberfläche spricht. Er beobachtete ***) am 30. und 31. Juli 1828 zu Freiberg in Sachsen in der Grube Kurprinz Friedrich August in einer Tiefe von 260 Metern unter der Erdoberfläche, und fand im Mittel mit zwei Nadeln eines Gambey'schen Inklinatoriums eine Inklination = 67° 35′, während dieselbe an der Erdoberfläche 67° 33′ betrug.

Wegen der sonst noch wünschenswerthen Aufschlüsse über die Inklination, namentlich wegen des theoretischen Theils, verweisen wir auf den Artikel Magnetismus der Erde. Hier möge es genügen die wesentlichsten Resultate anzuführen.

1) Die Variationen sind in beiden Hemisphären gleicher Art, nur daß das, was in der einen von dem Nordpole gilt, in der anderen auf den Südpol zu beziehen ist.
2) Die Variationen sind während des Nachts unbedeutend.
3) Die Variationen sind im Sommer größer, als im Winter.
4) In der heißen Zone sind die Variationen der Inklination unbedeutend.
5) Bei bezogenem Himmel sind die Variationen kleiner, als bei heiterem.
6) Das Maximum der jährlichen Inklination scheint mit der mittleren Wärme im Frühjahre zusammenzufallen und das Minimum mit der mittleren Wärme im Herbste. Das jährliche Mittel fällt nicht mit dem

*) Pogg. Ann. Bd. XII. S. 322. Ueber den Einfluß des Nordlichtes vergl. auch Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 213.

**) Gilbert's Ann. Bd. XXIX. S. 423.

***) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 199, vergl. auch Bd. XV. S. 326.

jährlichen Mittel der Wärme zusammen. Aehnliches scheint für die täglichen Variationen zu gelten. H. E.

Neusilber, s. Nickel.

Nickel (Niccolum), ein Metall. Chemisches Zeichen = Ni. Aequivalent: 369,33 (O = 100) oder 29,594 (H = 1).

Das Nickel gehört zu den seltener in der Natur vorkommenden Metallen; gediegen findet es sich nur in dem Meteoreisen, worin es zuerst von Proust 1799 nachgewiesen worden ist. Die gewöhnlichsten Nickelerze sind Schwefel-, Arsenik- und Antimonverbindungen; so der Haarkies NiS mit 64,8 Proc. Ni, der Wismuthnickelkies mit 40,65 Ni, das Kupfernickel (Nickelkies, Arseniknickel, Rothnickelkies) Ni^2 As mit 44,2 Ni, Weißnickelkies Ni As mit 28,14 Ni, Nickelglanz (Nickelarsenikkies, Weißnickelerz) Ni S^2 + Ni As mit 29,94 Ni, Antimonnickel Ni Sb mit 31,2 Ni, Nickelspießglanzerz (Nickelantimonkies, Nickelantimonglanz) Ni S^2 + Ni Sb^2 mit 28,04 Ni. Außerdem gehört zu den häufiger vorkommenden Nickelerzen noch der Nickelocker (Nickelblüthe, arseniksaures Nickeloxydul) 3 Ni O. As O^5 + 9 HO mit 36,2 Ni O. Ein dem Magnetkies ähnliches Nickelmineral (Ni S + 2 Fe S) findet sich im südlichen Norwegen. Nach Mayade *) und Ossian Henry **) kommt Nickel auch in eisenhaltigen Mineralwässern vor. Die Angabe von Büchner, daß das Nickel auch in Pflanzenreiche (dem Benzoëharze) vorkomme, hat sich nach den Untersuchungen von Muck ***) jedoch nicht bestätigt.

In wechselnden Mengen findet sich das Nickel ferner in manchen Magnetkiesen, Mangan- und Kupfererzen. Beim Verarbeiten der letzteren geht das Nickel mit in das Metall über. Man findet es zuweilen bis zu 12 Proc. in Schwarzkupfer und selbst noch im Gaarkupfer ****). Auch ist das Nickel fast ein beständiger Begleiter des Kobalt; von ersterem rührt die grüne Färbung verschiedener Mineralien (Chrysopras, Pimelit, Olivin ꝛc.) her.

Von den ersten ist das Kupfernickel am längsten bekannt, dessen zuerst von Hiärne 1694 erwähnt wird. Seiner Farbe wegen hielt man es für ein Kupfererz; als jedoch alle Bemühungen, das Metall daraus darzustellen, keinen Erfolg hatten, warf man es verächtlich bei Seite und theilte ihm den Namen „Nickel" zu, der namentlich in der plattdeutschen Sprache als Schimpfwort gebräuchlich ist. Die Ansicht, daß das Kupfernickel ein Kupfererz sei, erhielt sich lange Zeit bei den Chemikern des vorigen Jahrhunderts, selbst nachdem Cronstedt, ein berühmter schwedischer Mineraloge, der zuerst den Nutzen erkannte, die Mineralien nach ihrer chemischen Natur zu ordnen, 1751 ein eigenthümliches Metall darin nachgewiesen hatte. Diese abweichenden Ansichten veranlaßten Bergmann 1775 zu neuen Untersuchungen, durch welche die Angaben von Cronstedt im Wesentlichen bestätigt wurden. Später beschäftigten sich Proust, Richter, Tupputi und Berthier mit Untersuchungen des Nickels und seiner Ver-

*) Compt. rend. T. XXXIV. p. 479.
**) Journ. de Pharm. et de Chim. T. XXIV. p. 305.
***) Vierteljahrsschr. f. prakt. Pharm. Bd. IV. S. 375.
****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLII. S. 189. Ann. d. Phys. Bd. LXXI. S. 189. Dingler's polyt. Journ. Bd. CV. S. 238.

bindungen; in neuester Zeit erforschten namentlich H. Rose, Wöhler und Liebig die Mittel, das Nickel von den anderen Metallen, besonders vom Kobalt zu trennen.

Das Hauptmaterial für die Darstellung des Nickels im Großen bildet die sogenannte Kobalt= oder Nickelspeise, ein Nebenproduct, das bei der Bereitung der Smalte aus den Kobalterzen abfällt. Im Wesentlichen besteht sie aus Arsenik und Nickel (mit 43 bis 55 Proc. Ni); außerdem sind darin noch Schwefel, Kobalt, Eisen, Kupfer und Wismuth enthalten. Die Methode, nach der man hieraus das Nickel und Kobalt fast chemisch rein darstellt, ist ein Geheimniß der Blaufarbenwerke und Neusilberfabriken, das sorgfältig bewahrt wird. Von den Erzen benutzt man vornämlich das Kupfernickel; sonst aber auch andere Nickelerze, sofern sie in hinreichenden Massen gefunden werden. Um das Metall aus der Speise oder den Erzen darzustellen, bedient man sich sehr verschiedener Methoden. Nach Laugier sucht man das Arsenik durch sorgfältiges Rösten der Speise oder Erze theils für sich, theils mit Kohlenpulver gemengt zu entfernen. Dann löst man die geröstete Masse in Salpetersäure, schlägt Arsenik, Kupfer, Wismuth und Antimon durch Schwefelwasserstoff nieder und fällt das Nickel mit kohlensaurem Natron, wodurch zugleich aber auch Kobalt und Eisen mit niederfallen. Nach Berthier versetzt man die salpetersaure Lösung der gerösteten Masse mit Eisenoxyd, bringt das Ganze zur Trockne und zieht den Rückstand mit Wasser aus, wobei alles Arsenik mit dem Eisenoxyd ungelöst zurückbleibt. Die Lösung behandelt man mit Schwefelwasserstoff und fällt dann gleichfalls mit kohlensaurem Natron. Nach Erdmann entfernt man das Wismuth durch Verdünnen der salzsauren Lösung der gerösteten Masse mit Wasser und versetzt dann die siedende Flüssigkeit zuerst mit Eisenchlorid und darauf mit Kalkmilch, bis eine abfiltrirte Probe nicht mehr gelbgrün, sondern blaugrün erscheint. Oder man erhitzt die geröstete Masse mit Vitriolöl, versetzt die Lösung in Wasser mit schwefelsaurem Kali und läßt das Doppelsalz aus schwefelsaurem Nickeloxydul und Kali krystallisiren. Das Doppelsalz wird wiederum geglüht und in Wasser gelöst, wobei noch etwas arsenigsaures Eisenoxyd zurückbleibt, und dann das Nickel aus der Lösung gleichfalls durch kohlensaures Natron gefällt.

Auf trockenem Wege erhält man das Nickel durch wiederholtes Zusammenschmelzen der Speise oder der Erze mit 3 Theilen Pottasche und 3 Th. Schwefel. Es bildet sich hierbei eine Verbindung von Schwefelarsenik mit Schwefelkalium, die durch Ausziehen mit Wasser entfernt werden kann, während Schwefelnickel, jedoch mit Schwefeleisen, Schwefelkobalt, Schwefelwismuth, zurückbleibt. Die Schwefelmetalle werden geröstet, in Salzsäure oder Schwefelsäure gelöst und aus der Lösung wird das Metall wie angegeben dargestellt. Oder man schmilzt die geröstete Masse mit 2 Th. Salpeter und 1 Th. kohlensaurem Kali, wobei sich arsensaures Kali bildet, das durch Wasser entfernt wird, wobei unreines Nickeloxyd zurückbleibt. Aus diesem erhält man das Metall, jedoch gleichfalls nicht ganz rein, sondern mit Kobalt, Eisen, Arsen und Kupfer gemengt, durch Glühen mit Kohle. Ein solches Metall, sobald es nicht zuviel Arsenik enthält, ist jedoch für die meisten technischen Zwecke ganz gut brauchbar.

Die Analyse einiger Nickelsorten, wie sie im Handel vorkommen, ergab folgende Resultate:

	Deutsches Nickelmetall		Englisches Nickelmetall	Nickelmetall von Cassel
Nickel . .	56,25	54,6	73,3	89,35
Kupfer . .	27,50	30,1	Spur	7,96
Kobalt . .	—	—	22,1	—
Eisen . .	12,55	11,3	1,6	2,69
Thonerde .	—	—	2,5	—
Kieselsäure .	3,70	4,0	0,5	—
	100,00	100,00	100,0	100,00.

Bei der Darstellung eines reinen Metalles aus dem unreinen Metall oder Oxydul bedient man sich gleichfalls verschiedener Methoden. Mischt man dem Oxydul weniger Kohle hinzu, als zur Reduction erforderlich ist, und schmilzt man dann das Gemenge unter einer Decke eines metallfreien Glases, so geht hierbei Kobalt und Eisen vorzugsweise in die Schlacke. Eben so bleibt das Eisen mit etwas Nickel zurück, wenn man das Metall oder das Oxydul in einer zur vollständigen Lösung nicht ausreichenden Menge Salzsäure (bei ersterem mit einem geringen Zusatz von Salpetersäure) auflöst; Kupfer, Arsen und Wismuth werden durch Schwefelwasserstoff gefällt. Dann setzt man essigsaures Kali hinzu und erhitzt, um den Rest des Eisenoxydes zu entfernen. Aus der essigsauren Lösung wird zuletzt das Nickel, so wie eine Spur Kobalt durch Schwefelwasserstoff gefällt, während der größte Theil von Kobalt, etwas Nickel und Mangan in der Lösung bleiben. — Vertheilt man frischgefälltes, unreines Nickeloxydhydrat in Wasser und leitet Chlorgas hindurch, so bildet sich Kobaltoxyd und eine Lösung von reinem Nickelchlorür, die dann kochend durch kohlensaures Natron gefällt wird.

Reines Nickel erhält man durch Reduction von reinem Nickeloxydul oder Nickelchlorür durch Wasserstoffgas bei einer niederen Temperatur; das fein zertheilte Metall verbrennt leicht an der Luft. Bei der Reduction mittelst Kohle nimmt das Nickel leicht davon auf, wodurch es leichter schmelzbar, aber spröde wird. Durch Glühen des oxalsauren Nickeloxyduls erhält man das Metall in der Gestalt eines sogenannten Metallschwammes; erhitzt man diesen in einem Gebläseofen unter einer Decke von Glaspulver, so vereinigt er sich zu einer zusammenhängenden Masse.

Im reinen Zustande ist das Nickel fast silberweiß, hart und nimmt eine sehr schöne Politur an; es ist sehr geschmeidig, so daß man daraus Blech von 0,01 Zoll Dicke schlagen kann. Eben so läßt es sich auch zu Draht ausziehen. In der feuchten Luft erleidet das Nickel keine Veränderung. Alle diese Eigenschaften machen das Metall zu einer Verwendung für das praktische Leben sehr geeignet, und doch hat es diese erst in der jüngsten Zeit gefunden, während man es in China schon längst verstanden hat, davon eine nützliche Anwendung zu machen. Cronstedt machte 1754 den ersten Versuch, das Nickeloxydul in der Oelmalerei zur Anwendung zu bringen, doch fiel dieser nicht günstig aus. Noch 1824 gab Thénard in seinem Traité de Chimie an, daß man von dem Nickel keinen Gebrauch mache," während doch schon Fourcroy zu Anfange unseres Jahrhunderts in seinem Système des connaissances chimiques darauf hinwies, daß das Nickel gewiß sehr nützlich bei der Fabrikation von Email, Glas, Porzellan und Fayence verwendet werden könne. Und dies ist gewiß auch geschehen, da sich bei den

Pariser Droguisten oft bedeutende Vorräthe fanden, die nur auf Verlangen herbeigeschafft worden waren.

Spec. Gew. = 8,6 bis 9,26. Nickel ist magnetisch; nicht allein, daß es vom Magneten angezogen wird, sondern es kann auch selbst eben so stark magnetisch werden wie Eisen; bei einer Temperatur von 350° verliert es jedoch den Magnetismus. Erhitzt man das Nickel im Sauerstoffstrom, so verbrennt es wie Eisen. Lösungsmittel sind Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure, schweflige Säure und Cyankalium.

Vom Nickel sind zwei Sauerstoffverbindungen bekannt: das Oxydul (Ni O), früher gemeinhin Oxyd genannt, und das Oxyd $Ni^2 O^3$.

Nickeloxydul findet sich mitunter krystallinisch auf Gaarkupfer aus nickelhaltigen Erzen. Bei längerem Glühen oxydirt sich das Nickel endlich. Dargestellt wird das Oxydul durch Schmelzen des Metalles mit Salpeter; die geschmolzene Masse wird ausgelaugt und der Rückstand nochmals erhitzt. Oder man glüht Nickeloxydulhydrat oder das kohlensaure Nickeloxydul. Beim Glühen des salpetersauren Nickeloxyduls muß man eine sehr hohe Temperatur anwenden, wenn man Oxydul erhalten will.

Das Nickeloxydul ist ein aschgraues, zuweilen mehr grünliches Pulver, das sich um so leichter in Säuren auflöst, je weniger es geglüht worden ist. Es schmilzt nur bei sehr hoher Temperatur und wird vom Magneten nicht angezogen.

Nickeloxydulhydrat (Ni O, HO) erhält man durch Fällen der Lösung eines Nickeloxydulsalzes mittelst Kali oder Natronhydrat. Im feuchten Zustande besitzt es eine apfelgrüne Farbe; beim Trocknen nehmen die Stücke eine braune Farbe an, gerieben bilden sie wiederum ein grünes Pulver. In Ammoniak ist das Nickeloxydulhydrat mit blauer Farbe löslich.

Mit den verschiedenen Säuren bildet das Nickeloxydul Salze, die im wasserhaltigen Zustande meist eine smaragd- oder apfelgrüne, im wasserfreien Zustande in der Regel eine gelbe Farbe besitzen. Kali- und Natronhydrat, die kohlensauren, phosphorsauren und arseniksauren Alkalien, so wie Ferrocyankalium erzeugen in den Lösungen der Nickeloxydulsalze Niederschläge von grüner Farbe. Ammoniak bewirkt in den stark sauren Lösungen keinen, in den neutralen einen theilweisen Niederschlag, der sich in einem Ueberschuß des Fällungsmittels mit blauer Farbe auflöst. Schwefelwasserstoff bringt in den sauren Lösungen keinen Niederschlag hervor; aus den neutralen wird das Nickel dadurch nur theilweise gefällt; Schwefelammonium fällt daraus schwarzes Schwefelnickel.

Zu erwähnen sind das schwefelsaure Nickeloxydul $Ni O, SO^3$. Bei gewöhnlicher Temperatur krystallisirt, hat es sieben Aequiv. H O bei sich und besitzt dann dieselbe Krystallform wie das Bittersalz. Diese Krystalle, oft von beträchtlicher Größe, zeigen auffallend eine leichte Beweglichkeit ihrer einzelnen Theilchen. Ein solcher Krystall behält zwar seine äußere Form bei, wenn er dem Sonnenlicht ausgesetzt wird, aber er wird trübe und wenn man ihn zerbricht, so findet man Höhlungen darin und in diesen Quadratoctaëder, also Krystalle von einer ganz anderen Form. Aus heißen Lösungen krystallisirt das schwefelsaure Nickeloxydul mit 6 Aequiv. HO. Mit dem schwefelsauren Ammoniak bildet das schwefelsaure Nickeloxydul ein Doppelsalz ($Ni O, SO^3 + NH^4 O, SO^3 + 6 HO$) von blaugrüner Farbe. — Das salpetersaure Nickeloxydul ($Ni O, NO^5$) zerfließt sehr leicht an der Luft.

Das Nickeloxyd, auch Nickelsesquioxyd und Nickelsuperoxyd genannt, erhält man durch Erhitzen des salpetersauren Nickeloxyduls bis zum schwachen Glühen. Es ist ein schwarzes Pulver, das mit Säuren keine Salze bildet, indem es sich gegen diese wie ein Superoxyd verhält, d. h. Sauerstoff abgiebt. Dasselbe geschieht auch beim Glühen. — Nickeloxydhydrat ($Ni^2 O^3 + 3 HO$) bildet sich, wenn man durch in Wasser vertheiltes Nickeloxydulhydrat oder kohlensaures Oxydul Chlorgas leitet, oder wenn man diese mit einer Lösung eines unterchlorigsauren Salzes digerirt. Es verhält sich in der Hitze und gegen Säuren wie das Oxyd.

Auf die Verbindungen des Nickels mit den Nichtmetallen gehen wir, da diese keine besondere Wichtigkeit besitzen, nicht weiter ein.

Das Nickel erkennt man durch sein Verhalten gegen Kali, Ammoniak und Blutlaugensalz. Vor dem Löthrohr erkennt man das Nickel ebenfalls sehr leicht. Mit Soda werden die Nickelverbindungen auf der Kohle zu einem grauen metallischen Pulver reducirt. Die Borax- und Phosphorsalzperle nehmen in der äußeren Flamme einen Stich ins Rothbraune an; beim Erkalten verschwindet die Farbe ganz. In der inneren Flamme bleibt die Phosphorsalzperle unverändert; die Boraxperle aber färbt sich grau, indem Nickel reducirt wird. — Bei quantitativen Bestimmungen fällt man das Nickel stets aus seinen Lösungen in der Wärme durch Kalihydrat, weil das Schwefelnickel etwas in Schwefelammonium löslich ist. Entweder glüht man den Niederschlag, um Nickeloxydul zu erhalten, oder man reducirt das Letztere durch Wasserstoffgas zu Metall.

Unter den Legirungen des Nickels hat in neuerer Zeit die mit Kupfer und Zink eine große Wichtigkeit erlangt. Es ist dies das sogenannte Neusilber (Argentan), Packfong*), maillechort, melchior, german silver. Die Farbe dieser Legirung ist weiß, dem Silber ähnlich und daher auch der Name. Auf 1 Th. Kupfer reichen $^2/_5$ Th. Nickel aus, um die Farbe des ersteren gänzlich verschwinden zu lassen; die Legirung ist sehr dehnbar, aber sie läuft an der Luft an. Um die Oxydation zu verhindern, setzt man Zink zu.

In China wird diese Legirung schon seit langer Zeit verarbeitet. Schon 1776 untersuchte Engström ein daraus angefertigtes, aus China stammendes Gefäß; er fand darin 8 Th. Kupfer, 8,75 Th. Zink und 3 Th. Nickel. Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts bereitete man aus den Schlacken der Suhler Kupferhütten gleichfalls eine weiße Legirung, deren man sich zum Auslegen der Gewehrschäfte bediente. Die Zusammensetzung dieser Legirung wurde jedoch erst 1823 bekannt. Auf der Versammlung der deutschen Naturforscher zu Halle (1823) hielt Keferstein einen Vortrag, wodurch Geitner in Schneeberg veranlaßt wurde, das Nickelkupfer technisch darzustellen. Um die weitere Entwickelung dieses echt deutschen Industriezweiges, der für den Gebrauch in den Haushaltungen ein schönes und billiges Ersatzmittel für das kostspielige Silber liefert, machten sich namentlich Henniger in Berlin und Gerdorf in Wien verdient. Schon durch Hermbstädt wurde nachgewiesen, daß das zu Tischgeräthen verarbeitete Neusilber der Gesundheit nicht nachtheiliger sei als das 12löthige Silber.

*) Der richtige chinesische Name ist Pak-tong (d. h. Weißkupfer).

Für die Verarbeitung im Großen fertigt man sehr verschiedene Legirungen an. Sehr gebräuchlich sind folgende Verhältnisse:

Kupfer	Nickel	Zink	Kupfer	Nickel	Zink
52	22	26	8	3	3,5
59	11	30	8	4	3,5
63	6	31	8	6	3,5
8	2	3,5	8	3	6,5.

Seit 1850 prägt man in der Schweiz die Scheidemünze aus einer Legirung von Nickel, Kupfer, Zink und Silber. Das Verhältniß vom Nickel und Zink ist in den 20, 10 und 5 Rappenstücken dasselbe (1 : 2, 5), während der Kupfergehalt mit dem abnehmenden Werthe der Münze steigt (5; 5,5; 6) und der Silbergehalt fällt (1,5; 1; 0,5). W. B.

Nivelliren heißt das Höhenverhältniß nicht weit von einander entfernter Punkte mittelst der Nivellirinstrumente bestimmen, entweder um eine horizontale Strecke oder Ebene zu gewinnen, oder um die Horizontalität zu vermeiden und eine bestimmte Neigung zu erhalten. Der Maurer z. B. muß dem Zimmermanne die Mauer eines Gebäudes mit horizontaler Oberfläche überliefern, wenn dieser seine Balkenlage auflegen soll; der Steinsetzer hingegen muß beim Pflastern eines Rinnsteines in einer nicht abschüssigen Straße die Horizontalität vermeiden und für den zum Ablaufen des Wassers nöthigen Fall sorgen. Beides geschieht durch das Nivelliren. Bisweilen, z. B. bei der Untersuchung des Terrains wegen Anlage einer Eisenbahn, erstreckt sich das Nivellement auf größere Entfernungen; indessen erfolgt die Operation alsdann doch nur von Strecke zu Strecke, und es handelt sich hier mithin ebenfalls nur um das Höhenverhältniß nicht weit von einander entfernter Punkte.

Die Nivellirinstrumente sind dreifacher Art; sie beruhen nämlich entweder a) auf der Anwendung des Pendels, indem dies senkrecht zur Horizontalen steht, oder b) auf dem Stande einer Flüssigkeit in communicirenden Gefäßen, indem in solchen die Oberflächen der Flüssigkeit in derselben Horizontalen liegen, oder c) auf der Horizontalität einer einzigen Flüssigkeitsoberfläche und hier noch besonders darauf, daß in einem mit Flüssigkeit fast ganz gefüllten Gefäße der noch mit Luft gefüllte Theil stets die höchste Stelle einnimmt.

a) Auf dem Pendel beruht die Setzwaage. Es ist dies gewöhnlich ein gleichschenkeliges Dreieck aus Holz, von dessen Spitze aus eine auf die Basis senkrechte Linie auf der einen Fläche eingeschnitten ist. In dieser Linie ist an der Spitze der Faden eines Pendels befestigt von einer solchen Länge, daß der schwere Körper — eine Bleikugel — fast bis zur Basis herabhängt, woselbst sich ein größerer Ausschnitt befindet, um diesem Körper einen freien Spielraum zu gestatten.

Dieses Dreiecks bedient man sich unmittelbar, wenn es sich darum handelt, eine kleinere Fläche oder Strecke horizontal zu stellen, z. B. die Console für eine Stutzuhr; ist die Entfernung aber größer, handelt es sich z. B. darum, zu sehen, ob zwei etwa 10 Fuß von einander entfernte Mauersteine oder Pfahlköpfe in derselben Horizontalen liegen, so gehört noch das sogenannte Richtscheit dazu,

d. h. eine etwa 12 Fuß lange Latte, deren hohe Seiten genau parallel laufen. Dies Richtscheit bildet dann, indem man die Setzwaage mit ihrer Basis in der Mitte desselben aufsetzt, gewissermaßen eine Verlängerung der Basis. — Wer vorzugsweise mit Arbeiten der letzteren Art beschäftigt ist, bringt Richtscheit und Setzwaage wohl auch in feste Verbindung, indem an einer Latte oder einem langen Brette in der Mitte ein kürzeres Brett befestigt wird, auf welchem alsdann die oben angegebene, auf der unteren Kante der Latte oder des Brettes senkrechte Linie eingeschnitten und das Pendel befestigt wird. Besonders häufig findet man die letztere Einrichtung bei den Steinsetzern.

Es versteht sich von selbst, daß die Unterlage der Setzwaage horizontal sein muß, wenn der Faden des Pendels in die eingeschnittene Linie fällt, denn dann steht die Basis der Setzwaage senkrecht auf dem Pendel; fällt der Pendelfaden seitwärts von der bezeichneten Linie, so ist die Seite die niedrigere, nach welcher das Pendel hinzeigt. Wo keine große Genauigkeit nöthig ist, reicht die Setzwaage vollkommen aus.

b) Auf dem Stande einer Flüssigkeit in communicirenden Gefäßen beruht die **Kanalwaage**. Es ist dies eine 2 bis 3 Fuß lange, 1 bis 2 Zoll weite, an beiden Enden unter rechten Winkeln umgebogene blecherne Röhre A B (s. beistehende Figur), in deren Mitte eine conische Hülse C angelöthet ist, um dieselbe



auf ein Zapfenstativ aufsetzen zu können; an den beiden Enden D und E sind hohle gläserne Cylinder D F und E G eingekittet oder wasserdicht angeschraubt.

Soll mit diesem Instrumente nivellirt werden, so stellt man es auf ein Zapfenstativ, füllt es so weit mit Wasser, daß die beiden Oberflächen in den Glascylindern liegen, und visirt nun über die beiden Oberflächen. Alle Punkte, welche in der Visirlinie liegen, befinden sich mit den beiden Oberflächen des Wassers in derselben Horizontalen. Um das Visiren bequemer und sicherer zu machen, da man nicht gut über die Mitte der beiden Wasserflächen hinweg sehen kann, sondern an der Seite der Cylinder die Visirlinie gehen lassen muß, bringt man wohl noch auf den Glascylindern verschiebbare Diopterflügel a und b an, von denen jeder eine horizontale Ocularspalte und einen horizontalen Objectivfaden hat. Steht das Instrument in der verlangten Richtung und ist das Wasser zur Ruhe gekommen, so verschiebt man diese Diopterflügel an den Glascylindern, bis die untere Kante eines jeden mit der entsprechenden Wasserfläche in Berührung kommt. Stehen die Ocularspalte und der Objectivfaden von der unteren Kante gleich weit ab, so ist die Visirlinie von dem Oculardiopter über das Objectivdiopter natürlich horizontal. Um diese Diopter leichter verschieben zu können und ihnen doch die nöthige feste Stellung zu geben, bringt man an den Ringen, durch welche die Glascylinder gehen, ein Paar Metallfedern an.

Die Genauigkeit, welche mit einer Kanalwaage erreicht wird, beträgt $^1/_{2000}$ bis $^1/_{1000}$. Ein Hauptvorzug dieses Instrumentes ist, daß keine Rectification desselben nöthig ist, da die Oberflächen des Wassers in den Glascylindern in derselben Horizontalen liegen, wenn auch die Röhre A B nicht horizontal ist.

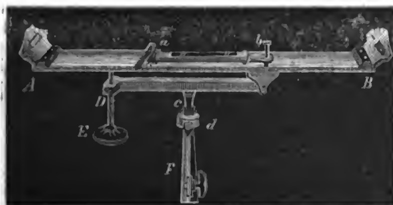
Eine Abänderung der Kanalwaage besteht darin, daß man schwimmende Diopter anbringt. De la Hire ließ die Diopter auf den Wasserflächen schwimmen; besser aber ist es nach Keith's Vorgange statt der Blechröhre A B ein hölzernes Gefäß zu nehmen, das Rohr A B — eine Durchbohrung in einem langen Holzstücke — und die cylindrischen oder cubischen Erweiterungen an den Enden dieses Rohres mit Quecksilber zu füllen und hier auf cylindrischen oder cubischen Körpern stehende Diopter schwimmen zu lassen. Der Gebrauch des Quecksilbers ist indessen mit manchen Unbequemlichkeiten beim Ein- und Ausgießen verknüpft, abgesehen davon, daß es kostspielig ist und bei häufigem Gebrauche Verluste nicht ausbleiben; hierzu kommt noch das Schwanken der schwimmenden Diopter, namentlich wenn nicht ganz windstilles Wasser ist; ferner daß die Diopter mit dem Körper nur schwer so angefertigt werden können, daß die Diopter beim Schwimmen gleiche Höhe haben.

Der Vorschlag bei Kanalwaagen statt der Diopter mit Ocularspalte und Objectivfaden ein Ocularglas und Objectivglas nebst Fadenkreuz anzuwenden, ist unpraktisch, so empfehlenswerth dies auch in Verbindung mit der dritten Art der Nivellirinstrumente ist.

c) Die dritte Art der Nivellirinstrumente beruht auf der Verwendung der Libellen, über welche ein besonderer Artikel in Bd. IV. S. 465 handelt, in Verbindung mit Dioptern oder einem Fernrohre. Sind diese Instrumente gehörig rectificirt, so gewähren sie die größtmögliche Genauigkeit. Als Repräsentanten der hierher gehörigen Instrumente mögen folgende beide dienen:

1) Vega's Nivellirdiopter.

Ein Diopterlineal A B (s. beistehende Figur) von 2 bis $2^1/_2$ Fuß Länge mit senkrecht auf demselben stehenden, etwa 2 Zoll hohen Dioptern, von denen jedes



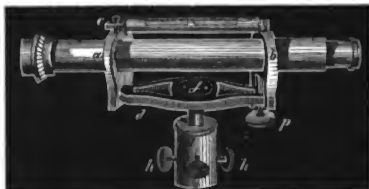
eine horizontale Ocularspalte und einen horizontalen Objectivfaden hat, trägt in seiner Mitte eine etwa 8 Zoll lange Libelle a b, welche bei b mit einer Rectificationsschraube versehen ist. Unterhalb des Lineals ist bei C ein Ansatz mit einem eingelenkten Querstücke C D, an dessen freiem Ende sich die Elevationsschraube E befindet. Mittelst der Schraube E kann die Visirebene in der Richtung A B hori-

zontal eingestellt werden; um aber diese Ebene auch in der auf A B senkrechten Richtung horizontal zu stellen, ist in dieser Richtung auf dem Diopterlineale an dem Ende a der Libelle a b noch eine kleine, etwa 2 Zoll lange Libelle angebracht, die so befestigt ist, daß ihre Blase einspielt, sobald der Objectivfaden horizontal ist. Um dies zu ermöglichen, ist in der Mitte des Querstückes C D ein Ansatz c, welcher mit der Hülse F durch ein Zirkelgewinde verbunden ist und durch die Schraube d eine Bewegung erhalten kann, senkrecht auf derjenigen, welche die Schraube E dem Diopterlineale ertheilt.

Die Hülse F paßt auf den Zapfen eines Zapfenstativs und wird mittelst einer Flügelschraube festgeklemmt.

2) Stampfer's Nivellirinstrument.

Ein etwa 9 Zoll langes Fernrohr (s. beistehende Figur) ist von zwei messingenen Ringen a und b umfaßt, auf welchen oberhalb eine empfindliche Libelle be-



festigt ist, die bei c ihre Rectificationsschraube hat. Jeder der Ringe hat unten einen Ansatz; der an a ruht mit diesem auf der Leiste d, der an b ist ausgeschnitten und innerhalb des Ausschnittes findet das andere Ende der Leiste bei der Hebung oder Senkung der Visirebene ihre Führung. Ebenda befindet sich auch die Elevationsschraube, um deren Spindel eine Feder gewunden ist, durch welche die Bewegung des Fernrohrs und die Drehung der Schraubenmutter p in Verbindung gebracht sind. Die Leiste d — und mit derselben das Fernrohr — ist zwischen zwei runden Platten um einen Bolzen beweglich, an welchen die obere Platte f angeschraubt ist.

Hierdurch wird jede Schwankung der Leiste beseitigt, und da der Bolzen senkrecht auf der Ebene der Platten steht, derselbe überdies innerhalb des hohlen Cylinders g in einen viereckigen Ansatz endigt, auf welchen die horizontalen Schrauben h, h, h wirken, so steht der Bolzen vertikal und die Umdrehungsebene der Leiste d wird horizontal.

Das Fernrohr ist ein terrestrisches und mit einem Fadenkreuze versehen. Das Stativ ist ein Zapfenstativ *).

Bei der Rectification kommt es zunächst darauf an, die Umdrehungsebene des Fernrohres horizontal zu stellen. Deshalb stellt man das Instrument in die Mitte einer 1200 bis 1800 Fuß langen Linie, deren End-

*) Stampfer's theoretische und praktische Anleitung zum Nivelliren. Wien 1845.

punkte durch breitköpfige Pflöcke bezeichnet sind. Hierauf wird der Cylinder g mittelst der Stativfüße nach dem Augenmaße vertical und das Fernrohr in der Richtung zweier Stellschrauben gestellt, und die Blase mittelst der letzteren in die Mitte gebracht. Dann kehrt man das Fernrohr um 180° um, bringt die Abweichung der Blase zur Hälfte mit der Elevationsschraube p fort, die andere Hälfte durch dieselben Stellschrauben, durch welche die Blase vorher in die Mitte gestellt wurde. Wiederholt man dies Verfahren, so wird man es dahin bringen, daß die Blase genau in der Mitte zur Ruhe kommt, das Rohr mag rechts oder links gewendet worden sein. Jetzt erst stellt man das Fernrohr in die Richtung der beiden anderen Stellschrauben und bringt mit diesen allein die Blase in die Mitte. Ist dies geschehen, so wird die Blase ruhig stehen bleiben, wenn auch das Fernrohr langsam im Kreise bewegt wird. — Zweitens muß man sich überzeugen, ob das Fadenkreuz sich in der Ebene des optischen Bildes befindet. Deshalb schraubt man die Fassung des Ocularglases so weit heraus, bis die Faden ganz schwarz erscheinen; dann läßt man in einem der bezeichneten Punkte eine Nivellirlatte aufstellen, richtet das Fernrohr gegen dieselbe und stellt die Ocularröhre so, daß die Latte deutlich gesehen wird. Bewegt man nun das Auge an der Ocularöffnung hin und her und bleibt der Durchschnitt der beiden Fäden auf dem Bilde unbeweglich stehen, so hat er die richtige Stellung, bewegt sich aber das Fadenkreuz auch, so ist es entweder vor oder hinter dem Bilde, und zwar ist dasselbe zu weit von dem Auge entfernt, wenn es sich mit demselben nach einerlei Richtung bewegt, zu nahe aber, wenn es mit diesem nach entgegengesetzter Richtung rückt. Da die verschiedenen Augen eine verschiedene Entfernung des deutlichen Sehens besitzen, so muß hiernach das Fadenkreuz für jedes Auge eine andere Stelle einnehmen. Steht das Fadenkreuz auch an der richtigen Stelle, so ist doch noch fraglich, ob der eine Faden wirklich horizontal gerichtet ist. Um sich hiervon zu überzeugen, stellt man den betreffenden Faden auf einen gut sichtbaren Punkt der Nivellirlatte und bewegt das Fernrohr in horizontaler Richtung. Bleibt der Faden nicht auf dem pointirten Punkte, so dreht man die Fassung des Fadenkreuzes, bis der Faden die richtige Lage hat. Endlich muß man sich noch davon überzeugen, daß die Visirebene horizontal ist, wenn die Libelle einspielt. Da dies am leichtesten durch eine Zeichnung zu veranschaulichen ist, so legen wir beistehende Figur zu Grunde. A und B seien die am Ende der abgesteckten Linie stehenden Pfähle, in der Mitte zwischen A und



B in C stehe das Instrument in der Höhe Cc. Ist nun die Visur nicht horizontal, so wird, wenn man die in B aufgestellte Latte anvisirt, und acb die durch c gehende Horizontale ist, ihre Höhe Bn = l um die Größe bn = x zu groß, vielleicht auch zu klein gefunden; wendet man jetzt das Instrument nach einer in A aufgestellten Latte, so muß, wenn die Libelle zum Einspielen gebracht ist, die hier

gefundene Lattenhöhe $Am = l'$ ebenfalls um $am = x$ zu groß oder anderenfalls zu klein sein, weil $ac = cb$ angenommen ist und $\angle acm = \angle bcn$ sein muß. Der wahre Höhenunterschied h zwischen A und B ist folglich

$$h = (l - x) - (l' - x) = l - l'. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Hierauf stelle man das Instrument in einem der Endpunkte, z. B. in B selbst auf, bringe die Libelle zum Einspielen und messe die Höhe des Instrumentes $= J = Bd$. Ist nun $Ae = l''$ die noch unbekannte richtige Lattenhöhe, also de wirklich horizontal, u der Unterschied der Horizonte für die Distanz AB, so ist $h = (J + u) - l''$, folglich aus Gleichung (1)

$$l - l' = (J + u) - l'',$$

folglich: $$l'' = (J + u + l') - l.$$

Stellt man die Zieltafel auf die Größe l'' und die Nivellirlatte in A vertical auf, während das Instrument in B unverrückt geblieben ist, so ist die Mitte der Zieltafel mit dem Durchschnittspunkte des Fadenkreuzes horizontal, und man braucht blos diesen Durchschnittspunkt auf die Mitte der Zieltafel einzustellen. Da hierdurch jedoch die Blase wieder aus der Mitte weichen wird, so muß man diese nun erst wieder zum Einspielen bringen. Die letzte Rectification muß übrigens wiederholt werden, um ganz sicher zu sein. Sind alle diese Rectificationen vollzogen, so ist das Instrument zum Gebrauche fertig.

Es giebt eine große Anzahl von derartigen Instrumenten, die wir indessen hier nicht alle aufnehmen können. Da in dem Vorstehenden der bei der Rectification vorzunehmende Gang beschrieben ist, der bei den einzelnen Instrumenten im Wesentlichen derselbe ist, so glauben wir um so mehr uns auf den Hinweis auf einige Werke, in denen Ausführlicheres zu finden ist, beschränken zu können. Außer Stampfer's bereits-erwähnter Schrift nennen wir daher hier noch: Grunert's Geodäsie. Leipzig 1842. Lemoch's Lehrbuch der praktischen Geometrie. Wien 1849, namentlich Bd. II.

Außer den im Vorstehenden charakterisirten Nivellirinstrumenten werden bei dem Nivelliren — wie schon bei der Rectification des Stampfer'schen Nivellirinstrumentes nebenbei erwähnt ist — Nivellirlatten verwendet. Es sind dies $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll breite, höchstens 12 Fuß lange, hölzerne Stangen, welche von Zoll zu Zoll, oder auch noch in Achtelzolle oder Zehntelzolle, eingetheilt sind. Die einzelnen Fuße bezeichnet man gewöhnlich mit römischen, die Zolle mit arabischen Ziffern. Wegen des unbequemen Transportes 12 Fuß langer Latten macht man meistens zwei kürzere, die eine 6, die andere 7 Fuß lang, und versieht dieselben mit einer Vorrichtung, welche ihre Zusammensetzung zu einer 12 Fuß langen Latte gestattet. Ist (umstehende Figur) die Latte A 6′ lang, so bringt man an ihr zwei Bänder a, a an, in welchen die andere 7′ lange Latte B parallel mit A verschoben und mittelst der Schrauben C, C festgestellt werden kann. Sind a und a noch nicht 12″ von einander entfernt, so kann man aus beiden Latten eine einzige 12′ lange bilden. Um das Abnutzen der Latten zu verhindern, werden dieselben an ihren Enden mit Messing oder Eisen beschlagen.

Um den anvisirten Punkt der Visirlatte genau bestimmen zu können, gehört noch eine Zieltafel oder Zielscheibe dazu. Es ist dies eine 12″ breite und 8 bis 9″ hohe Tafel von Eisenblech oder Holz, die auf ihrer Rückseite mit

I.



einer Hülse versehen ist, durch welche die Visirlatte geschoben wird. Die Vorderseite ist abwechselnd mit hellrother und weißer, oder schwarzer und weißer Farbe angestrichen und zwar in Zeichnungen von der Form D oder E. Auch findet man kreisrunde Scheiben, und auf ihnen nur ein schwarzes Kreuz in der Richtung der Diagonalen der Zielscheibe E; bisweilen schneidet man wohl auch in der Mitte ein kleines Rechteck aus, m n bei der Figur f, um den Punkt der Latte, bei welchem die obere Seite dieses Rechtecks liegt, also die Mitte der Zieltafel um so genauer ablesen zu können.

Ist man genöthigt die Visirlatte zu benutzen, welche länger als 6 Fuß ist, so wird das Verschieben der Zieltafel mittelst der Hand unbequem. Deshalb bringt man an der Zieltafel, z. B. E bei p eine Schnur an und führt diese über eine Rolle g am oberen Ende der Visirlatte. Das andere Ende der Schnur ist entweder frei, oder wird an der Rückseite der Latte herab über eine Rolle h am unteren Ende der Visirlatte geführt und an der unteren Seite der Zieltafel bei q befestigt.

Soll man eine Trace nivelliren, so geschieht dies entweder durch das Vorwärtsnivelliren, d. h. durch Nivelliren aus einem Endpunkte, oder durch das Nivelliren aus der Mitte.

Ist A B C D (s. beistehende Fig. II.) ein Stück der Trace, so wird diese durch kurze, breitköpfige Pfähle, die bis zur Bodenfläche eingeschlagen sind, in solche Stücke getheilt, daß die Neigung jedes einzelnen, z. B. A B, B C, C D, als gleich angesehen werden kann.

I.



Wendet man nun das Vorwärtsnivelliren an, so stellt man das Nivellirinstrument am ersteren Pfahle A auf, über dem folgenden B die Visirlatte. Hat das Nivellirinstrument ein Fernrohr, so kommt die Ocularlinse vertical über den Pfahl. Die Höhe der Ocularlinse mißt man und die Höhe der Zieltafel über B ebenfalls; der Unterschied beider Höhen ist der Höhenunterschied zwischen A und B. Hierauf bringt man das Instrument nach dem zweiten Pfahle, stellt die Latte

auf den dritten und fährt so fort. Ist die Höhe des Instrumentes größer, als die der Zieltafel, so steigt das Terrain; ist jene kleiner als diese, so fällt dasselbe.

Will man aus der Mitte nivelliren, so stellt man das Instrument in die Mitte zwischen zwei auf einander folgende Pfähle, z. B. in M, wenn MB = MC ist, die Visirlatte auf jeden der Pfähle B und C und bestimmt die Höhe der Zieltafel, aber nicht die des Instrumentes. Der Unterschied der beiden Höhen der Zieltafel giebt den Höhenunterschied der beiden Pfahlköpfe. Dies Verfahren setzt man dann zwischen dem nächsten Pfahlpaare fort.

Das Nivelliren aus der Mitte hat vor dem Vorwärtsnivelliren den Vorzug, daß die Messung der Instrumentenhöhe überflüssig ist. Ferner braucht das Instrument nicht vollkommen rectificirt zu sein und das Nivellement fällt doch genau aus, da die Fehler sich gegenseitig aufheben, wenn nur das Instrument in der Mitte steht. Außerdem steht der Geometer dem Gehülfen bei der Latte um die Hälfte näher, kann deshalb diesem leichter sich verständlich machen. Eben so bedarf man keiner so großen Latten und endlich fällt auch die Correction wegen der irdischen Refraction fort, da der Einfluß auf beiden Hälften sich compensirt.

Bei dem Vorwärtsnivelliren ist die irdische Refraction zu berücksichtigen. In Folge dieses Einflusses findet man nämlich die Höhe der Zieltafel zu klein, da dieselbe gehoben wird. Ist der Refractionswinkel, d. h. der Winkel, um welchen man einen Gegenstand zu hoch sieht, $= \lambda$, der Mittelpunktswinkel, d. h. der Winkel, welchen die beiden durch die beiden Standpunkte gehenden Verticalen im Mittelpunkte der Erde bilden, $= c$, so findet man im Allgemeinen $\frac{\lambda}{c} = 0{,}0653$.

Da nun bei den kleinen Entfernungen, um welche es sich hier handelt, λ ein kleiner Winkel sein wird, so kann man, wenn die Entfernung der beiden Standpunkte $= d$ ist, die Größe, um welche die Höhe der Zieltafel zu klein gefunden sein würde, $= d\lambda$ setzen, und da $c = \frac{d}{r}$ ist, wenn r den Halbmesser der Erde bezeichnet, so ist die Correction $= d\lambda = d \,.\, 0{,}0653 \,.\, c = \frac{0{,}0653 \,.\, d^2}{r}$.

Wegen des Specielleren des Nivellirens, der Bestimmung der horizontalen Entfernung, desgleichen der horizontalen Winkel, unter denen sich die einzelnen Stücke schneiden, der Führung des Protocolles oder Journales, des Entwurfes der Profilzeichnung u. s. f. sind speciellere Werke nachzusehen, von denen wir hier nur nochmals Lemoch's praktische Geometrie aufführen, und außerdem noch auf Netto's Handbuch der gesammten Vermessungskunde verweisen.

Ueber den ungefähren Preis der Meßinstrumente giebt einen Anhalt Artikel Apparat, Bd. I. S. 276. H. E.

Nonius oder Vernier heißt eine in gleiche Theile getheilte gerade oder krumme Linie, welche sich an einem Maßstabe verschieben läßt, und zu genauerer Messung, als mit dem Maßstabe möglich wäre, dient, indem mit Hülfe derselben Theile der Abtheilungen des Maßstabes bestimmt werden. Den Namen hat diese Vorrichtung von dem Portugiesen Nonius, dem man die Erfindung derselben

zuschrieb, und von dem Franzosen Peter Vernier, der sie 1631 wirklich erfunden.

Ein Maßstab enthalte nmal ein bekanntes Maß (= 1), also n Abtheilungen von der Länge des angenommenen Maßes und ein neben ihm liegender zweiten Maßstab (der Vernier) sei um die Einheit dieses Maßes kürzer, aber auch in n gleiche Theile getheilt, so ist jede Abtheilung des Nonius $= \frac{n-1}{n}$. Gesetzt nun, die Anfänge (Nullpunkte beider Maßstäbe) treffen genau auf einander, so wird der erste Theilstrich des eigentlichen Maßstabes über den ersten Theilstrich des Vernier hinausfallen, und zwar wird der Abstand beider Theilstriche $= 1 - \frac{n-1}{n} = \frac{1}{n}$ sein; der Abstand der mit 2 bezeichneten Theilstriche wird sein $= 2 - 2\left(\frac{n-1}{n}\right) = \frac{1}{n}$ u. s. f., der Abstand der mit n bezeichneten Theilstriche (Ende beider Maßstäbe) ist $= n - n\left(\frac{n-1}{n}\right) = 1$, d. h. der letzte Theilstrich des Vernier ist um 1 entfernt von dem letzten Theilstriche des Maßstabes, fällt folglich zusammen mit dem vorletzten Theilstriche des Maßstabes, welches schon in der Voraussetzung ausgesprochen war.

Ueberhaupt kann man aber dem Vernier in Rücksicht auf den Maßstab die Länge n — 1 oder n + 1 geben und denselben in n gleiche Theile theilen. Dann ist die Länge eines Noniustheils in jenem Falle $= 1 - \frac{1}{n}$, in diesem $= 1 + \frac{1}{n}$, also um $\frac{1}{n}$ kleiner oder größer als eine Abtheilung des Maßstabes.

Um nun ein bestimmtes Beispiel zu haben, nehme man an, a b (s. beistehende Figur) sei der Maßstab = 10 Zoll (''), also daß jeder Theilstrich an ihm 1 Zoll



abschneide; der Vernier c d sei = 9 Zoll, aber in 10 Theile getheilt, so schneidet an ihm jeder Theilstrich $^9/_{10}$ Zoll ab. Der Abstand des ersten Theilstriches des Maßstabes vom ersten Theilstriche des Vernier ist offenbar $= 1'' - {}^9/_{10}'' = {}^1/_{10}''$. Der Abstand des zweiten Theilstriches des Maßstabes vom zweiten Theilstriche des Verniers ist $= 2'' - {}^{18}/_{10}'' = {}^2/_{10}''$, u. s. f. Endlich der zehnte Theilstrich des Maßstabes steht ab vom zehnten Theilstriche des Nonius $= 10'' - {}^{90}/_{10} = 1''$.

Untersucht man für den oben angenommenen allgemeinen Fall die Abstände des letzten Theilstriches des Maßstabes und Vernier, so ist dieser Abstand

beim Zusammentreffen der Nullpunkte $= \frac{n}{n} = 1$

„ „ „ ersten Theilstriche $= \frac{n-1}{n}$

„ „ „ zweiten „ $= \frac{n-2}{n}$

„ „ „ mten „ $= \frac{n-m}{n}$

„ „ „ n — 1ten „ $= \frac{n-(n-1)}{n} = \frac{1}{n}$

„ „ „ nten „ $= \frac{n-n}{n} = 0.$

Für das angenommene bestimmte Beispiel, wo der Maßstab $= 10''$, der Vernier $= 10 \cdot {}^{9}/_{10}''$ war, ist der Abstand der letzten Theilstriche

beim Zusammentreffen der Nullpunkte $= 1$ Zoll

„ „ „ ersten Theilstriche $= {}^{9}/_{10}$ „

„ „ „ zweiten „ $= {}^{8}/_{10}$ „

„ „ „ neunten „ $= {}^{1}/_{10}$ „

„ „ „ zehnten „ $= 0$ „

Gesetzt, man soll mit Hülfe eines Maßstabes und Vernier die kleine Linie bm messen, so ist dies, da sie kleiner als 1 Zoll, mit dem Maßstabe allein nicht möglich. Man stellt daher den Vernier so ein, daß sein letzter Theilstrich nach m fällt, dann ist bm = dem Abstande der letzten Theilstriche von Maßstab und Vernier. Man sieht nun zu, welche Theilstriche des Maßstabes und Vernier bei dieser Stellung zusammenfallen; die beistehende Figur zeigt dies vor den mit 2 bezeichneten an, es ist daher $bm = {}^{8}/_{10}''$. War die Linie am zu messen, so findet man ihre Länge $= ab - mb = 10 - {}^{8}/_{10} = 9{}^{2}/_{10}$ Zoll.

Man sieht leicht ein, daß ein Nonius oder Vernier bei jeder Art von Maßstäben, auch bei Gradeintheilungen anzubringen ist. Der Vernier pflegt mit dem Maßstabe, zu dem er gehört, so verbunden zu werden, daß er sich genau an denselben anschließt und an ihm hin verschieben läßt. Um die Einstellung desselben genau bewerkstelligen zu können, pflegt man ihn durch eine Mikrometerschraube beweglich zu machen. Auch kann man bei feineren Eintheilungen dieser Art die Loupe zu Hülfe nehmen und so recht wohl noch ${}^{1}/_{100}$ Millimeter unterscheiden.

Nordlicht, Nordschein — **Südlicht, Australschein** — mit gemeinsamer Bezeichnung **Polarlicht**, ist eine eigenthümliche, in den Gegenden um die Pole in der Atmosphäre sich zeigende Lichterscheinung. Die Entstehung und den Verlauf eines sich ganz ausbildenden Nordlichtes hat v. Humboldt *) am trefflichsten geschildert, so daß es am zweckmäßigsten erscheint, demselben hier zu folgen.

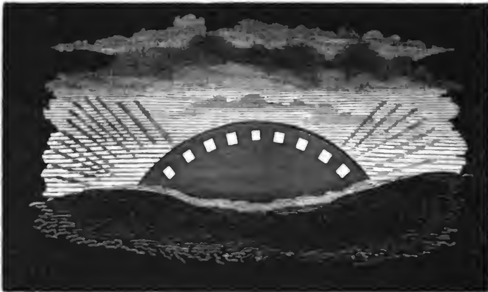
Tief am Horizonte, ungefähr in der Gegend, wo dieser vom magnetischen Meridiane durchschnitten wird, schwärzt sich der vorher heitere Himmel. Es bildet sich wie eine dicke Nebelwand, die allmälig aufsteigt und eine Höhe von 8 bis 10 Graden erreicht. Die Farbe des dunklen Segments geht ins Braune oder Violette über. Sterne sind sichtbar in dieser, wie durch einen dichten Rauch verfinsterten Himmelsgegend. Ein breiter, aber hellleuchtender Lichtbogen, erst weiß, dann gelb, begrenzt das dunkle Segment, der aber später entsteht, als das rauchgraue Segment. Der Lichtbogen, dessen höchster Punkt ungefähr in der Richtung des magnetischen Meridians liegt, in stetem Aufwallen und formverändernden Schwanken, bleibt bisweilen stundenlang stehen, ehe Strahlen und Strahlenbündel aus demselben hervorschießen und bis zum Zenith hinaufsteigen. Je intensiver die Entladungen des Nordlichtes sind, desto lebhafter spielen die Farben vom Violetten und bläulich Weißen durch alle Abstufungen bis in das Grüne und Purpurrothe. Die Feuersäulen steigen bald aus dem Lichtbogen allein hervor, selbst mit schwarzen, einem dicken Rauche ähnlichen Strahlen gemengt; bald erheben sie sich gleichzeitig an vielen entgegengesetzten Punkten des Horizontes und vereinigen sich in ein zuckendes Flammenmeer, dessen Pracht keine Schilderung erreichen kann, da es in jedem Augenblicke seinen leuchtenden Wellen andere und andere Gestaltungen giebt. Die Bewegung vermehrt die Sichtbarkeit der Erscheinung. Um den Punkt des Himmelsgewölbes, welcher der Richtung der Neigungsnadel entspricht, schaaren sich endlich die Strahlen zusammen und bilden die sogenannte **Krone** des Nordlichtes. Sie umgiebt diesen Punkt wie den Gipfel eines Himmelszeltes mit einem milderen Glanze und ohne Wallung im ausströmenden Lichte. Nur in seltenen Fällen gelangt die Erscheinung bis zur vollständigen Bildung der Krone; mit derselben hat sie aber stets ihr Ende erreicht. Die Strahlungen werden nun seltener, kürzer und farbenloser. Die Krone und alle Lichtbögen brechen auf. Bald sieht man am ganzen Himmelsgewölbe unregelmäßig zerstreut nur breite, blasse, fast aschgrau leuchtende, unbewegliche Flecke; auch sie verschwinden früher als die Spur des dunklen rauchartigen Segments, das noch tief am Horizonte steht. Es bleibt oft zuletzt von dem ganzen Schauspiele nur ein weißes, zartes Gewölk übrig, an den Rändern gefiedert oder in kleine rundliche Häufchen mit gleichen Abständen getheilt.

Dieselbe Erscheinung zeigt sich am Südpole; nur ist sie, weil diese Gegenden nicht so häufig besucht werden, als die dem Nordpole nahe gelegenen, nicht so häufig beobachtet worden. Von den Südlichtern haben wir zuerst ausführlicher Kunde erhalten durch Cook's Reisen, und Hansteen **) hat die da gemachten Beobachtungen zusammengestellt: Neuere Reisende haben oft Gelegenheit gehabt, ebenfalls Südlichter zu beobachten. Nach G. Forster unterschieden sich die Licht-

*) Kosmos, Bd. I. S. 199.
**) Schweigger's Journ. N. F. Bd. XVI. S. 193, Bd. XVIII. S. 369.

säulen der Südlichter von denen der Nordlichter dadurch, daß sie fast stets weiß gefärbt waren; doch fehlt es auch nicht an Beobachtungen gefärbter Lichtsäulen. James Roß stimmt Forster bei.

Die oben gegebene Schilderung des Polarlichtes gilt, wie bemerkt worden ist, nur für das vollständig zur Entwickelung gelangte Phänomen. Da dies nicht immer eintritt, so zeigt es sich je nach der größeren oder geringeren Vollkommenheit in sehr verschiedenen Formen. So beobachtete Mairan zu Breuille-Pont am 19. October 1726 *) ein Nordlicht, welches von einem einzigen dunklen Segmente, das an seinem Rande von symmetrisch gestellten Oeffnungen durchbrochen war, durch welche man ein dahinter befindliches Feuer zu sehen glaubte, gebildet wurde.



Um von dem Phänomen ein möglichst vollständiges Bild zu geben, lassen wir zunächst die ältere Beschreibung von Maupertuis **) folgen, welche sich auf seine im Jahre 1736 zu Ofwer-Torneå gemachten Beobachtungen stützt. „Sobald die Nächte anfangen dunkler zu werden, sieht man den Himmel durch Feuer von tausend Gestalten und Farben erleuchtet; sie scheinen die des beständigen Tages gewohnte Erde für die Abwesenheit der Sonne, die sich von ihr wendet, entschädigen zu wollen. Diese Feuer schränken sich dort nicht, wie in unseren südlichen Ländern, auf eine bestimmte Himmelsgegend ein. Zwar sieht man gegen Norden einen hellen unbeweglichen Bogen, mehrentheils aber scheint das Licht den ganzen Himmel ohne Unterschied einzunehmen. Es fängt zuweilen mit einem Bande von hellem und beweglichem Lichte an, das seine Enden am Horizonte hat und sich plötzlich über den ganzen Himmel ausbreitet, als ob nach einer auf den Mittagskreis senkrechten Richtung ein Fischernetz über ihn gezogen würde. Meistentheils vereinigen sich nach diesem Vorspiele alle Lichtmassen gegen das Zenith, wo sie gleichsam die Spitze einer Krone bilden. Oft sieht man gegen Mittag

---

*) De Mairan Traité de l'aurore boréale. Paris 1733. 2me éd. Paris 1754. Ueber die ältere Literatur s. Kämtz Meteorologie, Bd. III. S. 446.

**) La figure de la terre etc. par M. de Maupertuis. Amst. 1738. Oeuvr. de Maupertuis. Lyon 1768. T. III. p. 156.

Bögen, wie wir sie in Frankreich gegen Mitternacht sehen, oft erscheinen sie gegen Norden und Süden zugleich, und ihre Gipfel nähern sich einander, indem die Enden sich entfernen und gegen den Horizont herabsteigen. Ich sah solche entgegengesetzte Bögen, deren höchste Stellen sich fast im Zenith berührten; oft zeigen sich auch von beiden Seiten mehrere concentrische Bögen. Alle diese Bögen haben ihre Gipfel im Mittagskreise, jedoch mit einer westlichen Abweichung, welche nicht immer gleich groß und bisweilen unmerklich ist. Manche Bögen, deren Enden anfänglich gegen den Horizont zu am weitesten aus einander standen, ziehen sich bei ihrer Annäherung zusammen und bilden große Ellipsen, von denen man die größere Hälfte über dem Horizonte sieht. Man würde kein Ende finden, wenn man alle Gestalten und Bewegungen dieses Lichtes beschreiben wollte." — In neuerer Zeit sind die Beobachtungen sehr vermehrt worden, namentlich durch die Bemühungen, eine nordwestliche Durchfahrt aus dem atlantischen Oceane in das stille Meer zu finden. Parry mußte auf seiner zweiten Entdeckungsreise *) auf der Insel Melville überwintern und hatte hier oft Gelegenheit, Nordlichter zu beobachten. Fast immer standen die Nordlichter in süd-südwestlicher Richtung. Ein hier beobachtetes Nordlicht beschreibt Sabine wie folgt: „Herr Edwards sah dasselbe zuerst als einen vollkommenen Bogen, dessen Schenkel fast nördlich und südlich standen. Als ich aufs Eis ging, war der Bogen gebrochen; gegen den südlichen Horizont war das gewöhnliche Nordlicht, wie wir es kürzlich in klaren Nächten gesehen hatten, nämlich ein blasses Licht, welches hinter einer dunkelen Wolke in einer Höhe von 6 bis 12 Graden herzukommen schien, sich mehr oder weniger in verschiedenen Nächten und zu verschiedenen Zeiten derselben Nacht gegen Osten und Westen ausdehnte, ohne bestimmten Mittel- und Halbirungspunkt war, indem der größere Theil und zuweilen der ganze Lichtschein sich bald auf der Ostseite, bald auf der Westseite des Südpunktes zeigte, selten aber am nördlichen Horizonte stand oder über den Ost- und Westpunkt des Himmels hinausging. Dieses stimmt mit dem Nordlichte, welches man am gewöhnlichsten in England wahrnimmt, überein, nur daß es dort dem nördlichen Horizonte so eigen ist, wie hier dem südlichen, und zuweilen in Lichtstrahlen und Funken aufschießt. Es war bei dieser Gelegenheit durch keinen außerordentlichen Glanz oder ungewöhnliche Ausdehnung ausgezeichnet, indem der prächtige Theil der Erscheinung abgesondert und, wie es schien, ganz besonders war. Der Lichtbogen hatte sich in unregelmäßigen Massen gebrochen, die mit vieler Schnelligkeit nach verschiedenen Richtungen strömten, immerwährend an Gestalt und Stärke abwechselten und sich von Norden durch Osten nach Süden erstreckten. Wenn man annimmt, daß die Oberfläche des Himmels durch eine durch den Meridian gehende Ebene getheilt ist, so war das Nordlicht während der Zeit, daß ich es sah, auf die Ostseite der Ebene beschränkt und gewöhnlich am lebhaftesten und in größeren Massen in SOS. Parry und ich machten einander aufmerksam, daß da, wo das Nordlicht sehr glänzte, die hindurch gesehenen Sterne etwas trübe waren, obgleich dieses früheren Erfahrungen widerspricht." Parry fährt dann in der Beschreibung fort und sagt: „Die Vertheilung des Lichtes ist als unregelmäßig und beständig wechselnd beschrieben worden; die verschiedenen Massen schienen sich jedoch in zwei Bogen ordnen zu wollen, wovon der eine nahe am Zenith und der andere ungefähr in

*) Zweite Reise zur Entdeckung ꝛc. von W. E. Parry. Hamburg 1822.

der Mitte zwischen diesem und dem Horizonte hinlief, beide im Allgemeinen eine nördliche und südliche Richtung hatten, aber sich gegen einander krümmten, so daß ihre Schenkel verlängert eine Ellipse gebildet haben würden. Diese Bögen zertheilten sich eben so schnell, als sie entstanden waren. Einmal war ein Theil des Bogens nahe am Zenith in Windungen gebogen, denen einer sich bewegenden Schlange gleich, und diese waren in schneller, wellenförmiger Bewegung, eine Form, die wir zuvor nicht wahrgenommen hatten. Das Ende gegen Norden war auch wie ein Schäferstab gebogen, welches nicht ungewöhnlich ist. Das von einem Nordlichte entstehende Licht läßt sich schwer mit dem des Mondes vergleichen, weil die Schatten wegen der allgemeinen Verbreitung des ersteren sehr schwach und undeutlich werden, aber die Wirkung des eben beschriebenen ist meiner Meinung nach kaum der des Mondes in der ersten Quadratur gleich; das gewöhnliche blasse Licht des Nordscheins gleicht sehr dem beim Verbrennen des Phosphors entbundenen. Eine sehr schwache rothe Farbe ward bei dieser Gelegenheit bemerkt, als das Nordlicht am stärksten war, andere Farben waren jedoch nicht vorhanden. Nach dem Verschwinden des glänzenden Theiles des Nordlichtes, welches nahe bei uns zu sein schien, blieb nur noch das gewöhnliche Licht am Horizonte."

Bemerkenswerth sind ferner die Beobachtungen, welche v. Wrangel *) unter 69° bis 72° n. Br. an den Küsten des sibirischen Eismeeres gemacht und beschrieben hat. „Am nördlichen Horizonte, wenn er unbewölkt ist, zeigt sich ein heller und farbenloser Streifen in Form eines Kreissegments, dessen horizontale Weite anfänglich nur 20°, später aber bis 80° und mehr einnimmt, und dessen scheinbare Höhe allmälig 1° bis 6° ausmacht. Das Licht dieses Segments ist ruhig und nicht so stark, als das des Vollmondes Dann schießen von Zeit zu Zeit aus dem Segmente, am häufigsten an der Ostseite desselben, unruhige und helle Strahlenbündel von unten nach oben und erhalten sich einige Zeit als bewegliche Säulen, welche sich, wie nach dem Winde, biegen und krümmen. Diese Bewegung ist eben so merklich, als die der Wolken bei starkem Winde. Andere Säulen entstehen an dem Segmente, als wäre sie von den ersten angezündet. So schwingt sich die ganze Säulenmenge nach einer gemeinschaftlichen Richtung hin und her; allmälig verschwinden sie, eine nach der anderen, nach zwei bis drei Minuten. Zuweilen erzeugen sich solche Säulen von stärkerem Lichte als das Segment in diesem Segmente selbst, deren einige nicht über dasselbe hervorragen, andere aber sehr hoch herauf schießen. Der Glanz aller dieser Säulen ist merklich stärker, als der des Segments, aus welchem sie zu entstehen scheinen. Nachdem dieses Entstehen und Verschwinden eine sehr unbestimmte Dauer gehabt hat, verschwinden die Säulen ganz, und dann auch das blässere Segment; wenn aber die Säulen sehr unruhig gewesen sind, verschwindet oft die regelmäßige Figur des ruhigen Scheins und es bilden sich unregelmäßige krumm- und geradlinige Lichtfiguren, bald zusammenhängend, bald getrennt, die einige Zeit (eine Viertelstunde, auch länger) sich erhalten, blässer werden und dann ganz verschwinden."

Im Winter 1838 zu 1839 verweilte eine nach dem Norden ausgesandte wissenschaftliche Expedition, zu welcher der Schiffslieutenant Lottin, Bravais

*) Physikalische Beobachtungen des Capitain-Lieutenant Baron v. Wrangel, während seiner Reise auf dem Eismeere in den Jahren 1821, 22 und 23. Herausgegeben und bearbeitet von G. F. Parrot. Berlin 1827. S. 55.

und **Siljerström** gehörten, zu Bossekop im norwegischen Amte Finnmarken unter 70° n. Br. an der Mündung des Flüßchens Alten. Vom 7. September 1838 bis Mitte April 1839 zählte man in Zeit von 209 Tagen 143 Nordlichter und zwar waren dieselben zwischen dem 17. November und 25. Januar, zur Zeit der Abwesenheit der Sonne, besonders häufig, indem auf diese Nacht von 70 Mal 24 Stunden 64 Nordlichter kamen, ungerechnet diejenigen, welche wegen des bedeckten Himmels nicht sichtbar waren, deren Dasein aber die Magnetnadel anzeigte. Das Phänomen tritt hier in folgender Weise auf *):

Abends zwischen 4 und 8 Uhr färbt sich der obere Theil des leichten Nebels, welcher fast beständig im Norden von Bossekop hin in einer Höhe von 4° bis 6° herrscht, wie beim ersten Morgenrothe. Dieser lichte Streifen wird allmälig regelmäßiger und nimmt die Gestalt eines Bogens von blaßgelber Farbe an, dessen Ränder verwaschen erscheinen und der sich mit seinen Enden auf die Erde stützt. Dieser Bogen steigt mehr oder weniger langsam in die Höhe, während sein Gipfel stets nahe bei oder selbst in der Richtung des magnetischen Meridians bleibt.

Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen auf regelmäßige Weise trennen, und so bilden sich Strahlen, welche sich bald rasch, bald langsam verlängern oder verkürzen und in ihrer Helligkeit verändern. Der untere Theil dieser Strahlen zeigt immer den lebhaftesten Glanz und bildet immer einen mehr oder weniger regelmäßigen Bogen. Die Länge dieser Strahlen ist sehr verschieden, aber alle sind gegen einen Punkt des Himmels gerichtet, welcher durch die Richtung einer im magnetischen Meridian oder frei schwebenden Inklinationsnadel angedeutet ist. Bisweilen verlängern sich die Strahlen bis zum Durchschnitte und bilden so ein Bruchstück eines ungeheuren Lichtgewölbes.

Der Bogen fährt fort zum Zenith empor zu steigen; in seinem Glanze zeigt sich eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst schrittweise von Augenblick zu Augenblick. Diese Art Lichtstrom zeigt sich oft mehrmals hinter einander, aber weit öfterer von Westen nach Osten, als in entgegengesetzter Richtung; bisweilen, jedoch selten, findet eine rückgängige Bewegung unmittelbar nach der ersten statt.

Auch in horizontaler Richtung zeigt der Bogen eine Bewegung, welche den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes oder einer Fahne nicht unähnlich ist. Manchmal verläßt einer der Füße oder selbst beide den Horizont; dann werden diese Biegungen zahlreicher und deutlicher; der Bogen erscheint nur als ein langes Strahlenband, welches sich entwickelt, sich in mehrere Theile trennt und graziöse Windungen bildet, welche sich fest in sich schließen und das bilden, was man die **Nordlichtskrone** (corona borealis) genannt hat. Alsdann ändert sich plötzlich die Lichtintensität der Strahlen, sie übertrifft den Glanz der Sterne erster Größe; die Strahlen schießen mit Schnelligkeit, die Biegungen bilden und lösen sich, wie die Windungen einer Schlange; nun färben sich die Strahlen: die Basis ist roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blaßgelbes Licht. Diese Farben bleiben stets ohne Ausnahme in ihrer gegenseitigen Lage und sind von einer bewunderungswürdigen Durchsichtigkeit. Das

*) Traité d'electricité et de magnetisme par MM. Becquerel's. Paris 1855. Tom. I. Vergl. Comptes rendus T. X. p. 289. **Martin's** Meteorologie 1843. S. 453.

Roth nähert sich dem Blutrothen, das Grün einem blassen Smaragdgrün. Der Glanz vermindert sich, die Farben verschwinden, Alles löscht plötzlich aus oder das Phänomen wird nach und nach schwächer. Stückchen des Bogens erscheinen wieder, der Bogen selbst entsteht von Neuem, setzt seine aufsteigende Bewegung fort und nähert sich dem Zenith; die Strahlen erscheinen in Folge der Perspective immer kürzer; oft bildet sich ein langer Streifen paralleler Strahlen; endlich erreicht der Gipfel des Bogens das magnetische Zenith, einen Punkt, nach welchem das obere Ende der Neigungsnadel hinweist; dann sieht man die Strahlen von ihrem Fußende aus. Färben sich dieselben in diesem Augenblicke, so zeigen sie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne Färbung der oberen Theile erblickt.

Während dies vorgeht, bilden sich neue Bogen am Horizonte, welche entweder anfangs verschwommen erscheinen oder durch sehr lebhafte Strahlen gebildet sind. Man hat deren bis zu 9 gezählt, welche, auf die Erde gestützt, durch ihre Anordnung an die hinter einander hängenden Coulissen unserer Theater erinnern, die den Himmel der Theaterscenen bilden.

Denkt man sich nun, daß alle diese Strahlen, welche fortwährend und plötzlich sowohl in ihrer Länge, als in ihrem Glanze sich ändern, oft mit großer Lebhaftigkeit emporschießen, daß sie zeitweise die schönsten rothen und grünen Farbentöne zeigen, daß eine wellenartige Bewegung, wie in einem leichten Stoffe, stattfindet, daß Lichtströme einander folgen und endlich, daß das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure und prächtige Lichtkuppel zu sein scheint, welche über einem mit Schnee bedeckten Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, welches wie ein Asphaltsee dunkel ist; so hat man doch nur eine sehr unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiele, welches sich dem Beobachter dann darbietet, auf dessen Beschreibung man aber verzichten muß.

Die Krone währt nur einige Minuten; sie bildet sich bisweilen sofort ohne vorangegangenen Bogen. Selten giebt es mehr als zwei in einer Nacht und viele Nordlichter zeigen gar keine.

Die Krone wird schwächer, das ganze Phänomen ist nun südlich vom Zenith, immer blassere Bogen bildend, welche in der Regel verschwinden, ehe sie den südlichen Horizont erreichen. Das Nordlicht verliert an Intensität, die Strahlenbündel, die Bänder, die Bogenstücke erscheinen und verschwinden abwechselnd, und die Strahlen werden dann wie verwaschen. In dieser Periode treten mehr oder weniger bemerkenswerthe secundäre Erscheinungen ein, z. B. schwache, unbestimmt begrenzte Lichtschimmer, unregelmäßige Bewegungen, eine Art Zittern. Allmälig erscheint die Morgenröthe, die Erscheinung wird immer schwächer und endlich ganz unsichtbar.

Der höchste Punkt des Lichtbogens ist, wo er genau gemessen worden ist, gewöhnlich nicht ganz im magnetischen Meridiane, sondern 5° bis 18° abweichend nach der Seite, wohin die Magnet-Deklination des Ortes sich richtet.

Die Höhe des Nordlichtes hat man aus der Parallaxe verschiedener Bogenstücke, oder der Krone, oder besonders hervorstechender Punkte zu bestimmen gesucht. Diese Messungen können jedoch wegen der beständigen Oscillation der Lichterscheinung und daraus entstehender Unsicherheit des parallaktischen Winkels

kein großes Vertrauen einflößen. Daher sind die Resultate äußerst schwankend. Früher nahm man an, daß das Nordlicht jenseits der Atmosphäre seinen Sitz habe; allein dann könnte dasselbe an der täglichen Umdrehung der Erde keinen Antheil haben, was doch entschieden der Fall ist. Das Nordlicht bildet sich also zuverlässig innerhalb unserer Atmosphäre. Bei demselben Nordlichte hat man Resultate gefunden, die zwischen 1 bis 26 geogr. Meilen verschieden sind *). Uebrigens kann man um so weniger aus parallaktischen Messungen zum Ziele gelangen, da wahrscheinlich jeder Beobachter sein eigenes Nordlicht sieht, wie seinen eigenen Regenbogen, oder wenigstens jeder Beobachter eine eigene Projection erblickt. Mairan fand die verticale Höhe 120 geogr. Meilen, Bergmann nahe 100, Cavendish 52 bis 71; Dalton 18. Thienemann setzt das Phänomen in die Region der Wolken, auch v. Wrangel glaubt dies annehmen zu können, und Farquharson sah mehrmals die Nordlichtstrahlen auf Wolkenschichten projicirt, die also höher waren, als das Phänomen. Die merkwürdigste und wichtigste Thatsache beobachtete er am 20. December 1829. Er sah nämlich um $8^1/_2$ bis 11 Uhr Abends ein sehr glänzendes Nordlicht über einer dichten Wolkenmasse, welche die Spitzen der nördlich von seinem Wohnorte liegenden Coreenhügel bedeckte. Obgleich der übrige Theil des Himmels heiter war, so stieg das Nordlicht doch nie höher als 20°. Gleichzeitig sah der Prediger James Paull zu Tullyneßle, welches zwei englische Meilen nördlich von Alford in einem engen Seitenthale der erwähnten Hügelreihe liegt, um $9^1/_4$ Uhr Abends das Nordlicht ungewöhnlich hell in der Nähe des Zeniths, so daß es wahrscheinlich wird, daß es über diesem Thale in einer Höhe von höchstens 4000 Fuß gelegen habe. Die neueren Reisen nach den Polargegenden bestätigen diese Ansicht im hohen Grade; Parry, Franklin, Hood und Richardson sprechen sich entschieden für eine geringe Höhe der Nordlichter aus. Die Höhe des Phänomens ist also jedenfalls, wie die der Wolken, sehr ungleich; aber daß dieselbe 20 und mehr Meilen betrage, ist höchst zweifelhaft. Muncke ist der Meinung, daß sich die Nordlichter an ihrer äußersten Grenze schwerlich höher erheben, als etwa 4 geogr. Meilen, wofür auch überdies die einzelnen Angaben über die Helligkeit weit verbreiteter Nordlichter sprechen, indem sich da nicht die Lichtintensitätsverhältnisse, nicht die Lichtabnahme nach dem Quadrat der Entfernungen, ergeben, welche sonst gefunden werden müßten **).

Für eine geringe Höhe der Nordlichter würde auch das Geräusch sprechen, welches öfter bei denselben wahrgenommen worden und seinen Grund in dem Strahlenschießen haben soll. Nach Kämtz wird dies Geräusch von Einigen mit demjenigen verglichen, welches entsteht, wenn ein Stück Seidenzeug über einander gerollt wird, von Anderen mit dem Knistern elektrischer Funken, von noch Anderen, wie Parrot, mit dem Geräusche der stark vom Winde getriebenen Flamme einer Feuersbrunst. Muncke ist der Meinung, die Grönlandsfahrer hätten ihre Erzählungen ausgeschmückt und so den Glauben an die Existenz dieses Geräusches aufgebracht. Unter den Zeugnissen, welche dafür sprechen, wird am häufigsten das von Gmelin angeführt, welcher erzählt, es hätten ihn viele Personen ver-

*) Pogg. Ann. Bd. XII. S. 321, Bd. XXII. S. 474 u. 481.
**) Vergl. Kämtz, Meteorologie, Bd. III. S. 470 ff.

sichert, das Nordlicht sei in Sibirien mit einem so heftigen Zischen, Platzen und Rollen verbunden, daß es scheine, als hörte man das oft wiederholte Knallen des allergrößten Feuerwerkes, weswegen die Leute zu sagen pflegten, der rasende Geist gehe vorüber. Würden die Jäger an den Ufern des Eismeeres von diesen Nordlichtern überfallen, so erschräken ihre Hunde so sehr, daß sie sich auf die Erde legten und es unmöglich sei, sie von der Stelle zu bringen, bis das Getöse geendigt habe. An der Existenz dieses Geräusches zweifelte schon Mairan; Bergmann hat nie etwas Derartiges gehört; v. Buch zog vielfache Erkundigungen ein, indessen vergebens; v. Wrangel sagt: „Wir hörten bei Erscheinung der Säulen kein Krachen, überhaupt kein Geräusch. Nur wenn das Nordlicht eine große Intensität hatte, wenn die Strahlen sich oft nach einander bildeten, däuchte es uns, als höre man wie ein schwaches Blasen des Windes in die Flamme." Auch Biot hörte das Geräusch nie auf der Insel Unst, obgleich die Bewohner versicherten, es oft vernommen zu haben, und eben so erging es den Mitgliedern der wissenschaftlichen Commission, welche in Bossekop von den Einwohnern zwar bestätigende Zeugnisse erhielten, selbst aber nie ein Geräusch wahrnahmen. Parry, Franklin, Hood und Andere im hohen Norden Reisende sprechen sich eben so verneinend aus, wiewohl sie Hunderte von Nordlichtern gesehen haben. Am wahrscheinlichsten ist also, daß man das Rauschen des Windes, welches zufällig eintrat, mit dem Nordlichte in causalen Zusammenhang brachte, oder daß das Geräusch, wie bei Gmelin's Erzählung, von dem Bersten des Eises und der Schneekruste in Folge des Zusammenziehens durch die Kälte der hellen Nordlichtnächte herrührte.

Sehr allgemein ist die Annahme, daß das Nordlicht mit der allgemeinen Witterung im Zusammenhange stehe; wie sollte indessen ein Phänomen an einem einzigen Orte des Nordens auf die Witterungsverhältnisse eines großen Theiles der Erde Einfluß haben? Sehr verbreitet war die Meinung, daß die Nordlichter Kälte bedeuteten, wenn sie vor dem Winter sichtbar würden, dagegen einen trockenen Sommer, wenn sie im Frühlinge kämen. L. v. Buch hörte, die niedrigen seien Vorläufer von heiterem Wetter, hohe, bewegte, strahlende und flackernde aber Vorboten von Stürmen. Scoresby will gefunden haben, daß auf ein glänzendes Nordlicht stürmisches Wetter folgte, in anderen Fällen schönes oder veränderliches. Thienemann und v. Wrangel setzen die Nordlichter nur mit der Bildung leichter Wolken in Zusammenhang. Auch im nördlichen Amerika ist die Ansicht herrschend, daß ein Zusammenhang mit der Witterung stattfinde. Hood konnte jedoch nichts Bestimmtes aus eigener Beobachtung ermitteln. Gewöhnlich hat man angenommen, daß die Nordlichter nur bei heiterem Himmel auftreten könnten; Franklin bemerkt aber ausdrücklich, daß sie oft bei dunstigem Wetter entstehen und setzt überdies hinzu, daß die Wolken zuweilen am Tage die Form von Nordlichtern angenommen hätten. Die Wolken scheinen nur dann das Erscheinen des Nordlichtes zu verhindern, wenn sie zwischen ihm und dem Auge des Beobachters hinziehen, nicht aber, wenn das Nordlicht selbst seinen Ort in ihnen hat. Wahrscheinlich waren die von Franklin am Tage beobachteten Phänomene, bei denen er auch eine Ablenkung der Magnetnadel beobachtete, wirkliche Nordlichter, die nur wegen des Tageslichtes nicht leuchtend erschienen. Jedenfalls hält es bis jetzt noch schwer, ein bestimmtes Resultat über den Zusammenhang mit der Witterung aufzustellen; wahrscheinlich ist es, daß ein solcher wie bei den

elektrischen Entladungen in den Gewittern nur ein localer ist, wie denn vielleicht das ganze Phänomen nur als ein locales anzusehen sein möchte *).

Sehr bemerkenswerth ist noch eine Beobachtung v. Wrangels über das Verhalten der Sternschnuppen gegen das Nordlicht, die jedoch bis jetzt von keinem anderen Beobachter bestätigt worden ist. Er sagt: „Wenn Sternschnuppen im Bereiche der Nordlichter erscheinen, so entzünden sich an der Stelle, wo dieselben durchgingen, sogleich Feuersäulen, die sich dann von ihrem Entstehungsorte seitwärts (mit dem Winde) bewegen, und es entstehen an ihrer Stelle andere Säulen und Strahlenbündel. Daß demnach Sternschnuppen am Entzünden der Säulen im Nordlichte Antheil nehmen, ist von mir oft beobachtet worden." Wäre diese Beobachtung keine Täuschung, so würde sie einen neuen Beweis dafür enthalten, daß die Nordlichter innerhalb der Erdatmosphäre entstehende Phänomene sind.

Die Intensität des Lichtes ist zu Zeiten so groß, daß Lowenöen (29. Januar 1786) bei hellem Sonnenscheine Schwingungen des Polarlichtes erkannte. Am 9. September 1827 sollen auch in England nach einem vorausgegangenen Regen um Mittag ein 20° hoher Nordlichtbogen und leuchtende, aus ihm aufsteigende Säulen an einem klar gewordenen Theile des Himmels gesehen worden sein. Doch ist das Nordlicht im Allgemeinen eine der Nacht angehörige Erscheinung. Die Helligkeit des ausgebildetsten Nordlichtes kommt der des Vollmondes nicht gleich, und nur die Großartigkeit der Erscheinung hat einzelnen Beobachtern so imponirt, daß sie eine übertriebene Beschreibung von der durch die Nordlichter in den Polargegenden bewirkten Helligkeit gemacht haben. Nach Brewster ist die Helligkeit des Nordlichtes im Allgemeinen der des Mondes im ersten Viertel gleich, wenn die Sonne einige Grade unter dem Horizonte ist. Ein Beweis von dem geringen Lichte der Nordlichter ist, daß man durch die Strahlen hindurch die Sterne erblickt, und zwar nicht allein die erster und zweiter Größe, sondern auch kleinere. Scoresby, der in sehr hohen Breiten die Nordlichter beobachtete, setzt die Helligkeit derselben, wenn sie bis zum Zenith reichen, der des Vollmondes gleich. Nach Parry's sämmtlichen Angaben über seine Beobachtungen auf der Insel Melville unter 75° n. Br. war das Nordlicht kaum so hell als das Licht des Mondes in der ersten Quadratur, die Farbe glich der des erleuchteten Phosphors und spielte zuweilen etwas ins Rothe, sonst aber war keine Farbe wahrzunehmen. Parry bemerkte, daß auch die schwächsten Nordlichtstrahlen die Sterne ein wenig verdunkelten, gleichsam wie ein dünner vorgezogener Schleier. Auch Franklin fand, daß die größeren Sterne niemals bei einem Nordlichte verschwanden, wohl aber zuweilen die kleineren, wenn die glänzenderen Theile des Nordlichtes unter ihnen hinzogen. Doch giebt es allerdings auch Angaben, welche eine größere Helligkeit der Nordlichter bezeugen. So beschreibt de la Pilaye die von ihm auf Terreneuve gesehenen Nordlichter so hell, daß ihr Licht durch die dicken dort herrschenden Nebel dringe und einen Schatten bewirke. Auch sollen die Nordlichter dort zuweilen irisirend sein, welches wahrscheinlich von der Brechung des Lichtes im Nebel herrührt. Am 13. Febr. 1821 wurde zu Fort Entreprise unter 64° 30 n. Br. ein sehr helles Nordlicht gesehen, obschon an dem trüben Himmel kein Stern sichtbar war, und nur die Ränder des

*) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 339.

Mondes zwei Tage vor Vollmond schwach durch die Wolken schimmerten. Man könnte hieraus folgern, das Licht des Nordlichtes müsse das des Mondes bei weitem übertroffen haben, allein bei weitem wahrscheinlicher ist, daß das Nordlicht dort der Erde sehr nahe war, und bis unter die Wolken herab hing. Ob das Licht des Nordlichtes polarisirt ist oder nicht, ist noch nicht völlig entschieden. Nach einigen Angaben soll es homogenroth und polarisirt gewesen sein *), nach anderen **) ist es nicht polarisirt. Dieser Punkt ist besonders wichtig, weil dadurch entschieden wird, ob das Licht reflectirt ist oder nicht.

In den Polargegenden sind die Nordlichter so häufig, daß Nächte ohne dieselben zu den Ausnahmen gehören. Bisweilen tritt das Nordlicht hier in solcher Ausbildung nach Einbruch der Nacht auf, daß man zur Annahme berechtigt ist, es habe schon vorher bestanden, und da es eben so oft nicht vor Tagesanbruch verschwindet, so wird es wahrscheinlich, daß es den ganzen Tag über existirt hat. In mittleren Breiten sind die Nordlichter seltener und zeigen sich nur dann, wenn sie in den Polargegenden eine gewisse Ausdehnung erreicht haben. Bisweilen ist diese Erstreckung sehr beträchtlich, und bedenkt man, daß das Phänomen an beiden Polen auftritt, so kann es auf einem großen Theile der Erdkugel wahrgenommen werden. Nach v. Humboldt ***) sind selbst in Mexico und Peru Nord-Polarlichter gesehen worden. Uebrigens sind örtliche Einflüsse nicht zu verkennen, so daß man vielleicht besondere Nordlichtstriche unterscheiden könnte; denn v. Wrangel sah den Glanz abnehmen, so wie er sich um Nischne-Kolymsk vom Littoral des Eismeeres entfernte. Mairan sammelte alle Fälle von Nordlichtern, welche bis 1731 zu seiner Kenntniß kamen, und beobachtete selbst von 1716 bis 1731 sehr sorgfältig; das Ergebniß war, daß im mittleren Europa die Nordlichter häufiger im Winter, als im Sommer auftreten, daß die Menge derselben in den einzelnen Jahren sehr verschieden ausfällt, z. B. 1724 nur zwei, 1728 sehr viele, am meisten 1731 im October, wo durchschnittlich alle drei Tage ein Nordlicht war. Im Mittel zeigen sich im mittleren Europa jährlich 10 Nordlichter. Ein ausgezeichnetes Nordlicht in unseren Gegenden war am 7. Januar 1831. Poggendorff hat die darauf bezüglichen Beobachtungen zusammengestellt ****). Eben so war das Nordlicht vom 18. October 1836 eins der schönsten *****), desgleichen das vom 18. Februar 1837 †).

In dem Phänomene selbst unterscheidet Bravais 4 besondere Epochen: 1) das erste Auftreten des Bogens, 2) das Auftreten der Strahlen, 3) die Färbung der Strahlen, 4) das Matterwerden des Lichtes. Zwar findet für die Zeiten, in welchen diese Epochen beginnen, keine strenge Regelmäßigkeit statt, im Allgemeinen aber ergeben sich folgende mittlere Zahlen: 1) 7 Uhr 52′ Abends; 2) 8^h 26′; 3) 11^h 18′ und 4) 3^h 32′ Morgens.

Einer der wichtigsten Umstände, welcher bei dem Nordlichte beachtet werden muß, ist die Beziehung, welche zwischen demselben und der Magnetnadel stattfindet.

---

*) Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 292.
**) Pogg. Ann. Ergänzungsband III. S. 632. Philos. Mag. 1852. December.
***) Kosmos, Bd. I. S. 202.
****) Ann. Bd. XXII. S. 436 ff.
*****) Ann. Bd. XXIX. S. 201.
†) Ann. Bd. XL. S. 464.

Halley sprach nach seiner Rückkehr von den drei Reisen, welche er 1698 bis 1702 auf einem von der englischen Regierung zu seiner Verfügung gestellten Schiffe gemacht hatte, zuerst den Gedanken aus, daß das Nordlicht ein magnetisches Phänomen sei. Es ist schon oben bemerkt, daß der Nordlichtbogen im magnetischen Meridiane liegt, wenn auch nicht genau, so doch mit seiner höchsten Stelle immer nach der Seite hin, wohin die Deklination des Ortes sich richtet; eben so ist für die Nordlichtkrone die Stelle oben bezeichnet worden, nach welcher das obere Ende der freien Inklinationsnadel hin zeigt. Hierzu kommt aber noch, daß, wie Celsius und Hiorter *) 1740 zuerst bemerkten, die Abweichung der Deklinationsnadel sich während der Dauer dieses Meteors merklich ändert, namentlich ein Schwanken derselben eintritt. Jetzt besteht aber über diese Thatsache kein Zweifel mehr, im Gegentheil hat man, namentlich seit der Erdmagnetismus nach Deklination, Inklination und Intensität auf weit entlegenen Observatorien gleichzeitig beobachtet wird, gefunden, daß die Störungen der Magnetnadel in allen drei Beziehungen gleichzeitig auf der ganzen Erde schon an dem Tage vor dem Auftreten eines Polarlichtes sich durch eine große Unruhe der Nadel bemerkbar machen. Arago sagt mit Beziehung hierauf, man könne durch die bloße Besichtigung einer Boussole zu Paris wissen, was unter den Polen vorgehe.

Wegen des Einzelnen müssen wir hier auf größere und specielle meteorologische Werke verweisen, namentlich auf Kämtz, und bemerken daher nur, daß die Deklination sich in wenigen Minuten bis zu 5 Grad aus ihrer gewöhnlichen Richtung ändert, und daß die Intensität sich bis zum Ausbrechen des Polarlichtes ungemein steigert, dann aber wieder abnimmt, je lebhafter das Polarlicht selbst wird. Recht deutlich geht aber der Einfluß des Polarlichtes auf den Erdmagnetismus aus folgenden Beobachtungen hervor, welche man an dem Nordlichte des 17. November 1848 machte, und die wir nach Foissac **) mittheilen.

Zu Montpellier bot der Himmel um 9 Uhr Abends in dem Augenblicke, in welchem das Phänomen seine größte Schönheit erreichte, folgenden Anblick dar. Im Norden des Horizontes nahm ein leuchtender Streifen ungefähr einen Raum von 50 Grad ein, wobei er ein wenig nach Westen hin abwich und der ersten Morgendämmerung glich. Oberhalb desselben stachen einige Wolken durch ihre Schwärze stark gegen den klaren Himmel ab; über diesen Wolken erhob sich ein rothes, auf Augenblicke sehr lebhaftes Licht bis auf ungefähr 50° bei einer Ausdehnung von 90°. Der Glanz dieses leuchtenden Streifens wuchs bis 9 Uhr 30 Minuten, wo er den großen Bären verdunkelte und zwischen dem Polarsterne, der Leier und dem Fuhrmann kein Stern sichtbar war. Die rothe Wolke, durch welche mitten hindurch der Stern Vega mit glänzender Weiße leuchtete, schien ihren Ort zu verändern und in ihrer Intensität Schwankungen unterworfen zu sein. Merkwürdiger jedoch waren bei diesem Phänomen die leuchtenden Strahlen, welche sich in manchen Augenblicken in fast verticaler Richtung erhoben, einige Minuten später verschwanden, um an anderen Punkten wieder aufzutauchen, und die während ihres Erscheinens in einer gewissen Unbeweglichkeit waren. Diese

*) Schwed. Abhandl. Deutsch. Uebers. Bd. IX. S. 36 und Bd. XII. S. 54. Hansteen's Untersuchungen, Bd. I. S. 412.
**) De la Météorologie etc. Paris 1854. T. I. p. 295.

dem magnetischen Meridiane ziemlich parallelen Strahlen gingen bis zum Zenith. Die einen besaßen eine lebhaft rothe Farbe und bildeten gegen die weiße Farbe der übrigen einen scharfen Gegensatz. Um 10 Uhr folgten die Lichtstrahlen sich immer in kurzen Zwischenzeiten; anstatt jedoch parallel aufzusteigen, schienen sie von einem unter dem Horizonte gelegenen Punkte zu divergiren. Das weiße Licht hatte an Stärke abgenommen; die rothen Wolken hatten sich gegen Westen ausgedehnt und verbreiteten sich über einen Raum von 150°, nämlich 50° östlich und 150° westlich. Der helle Stern im Adler glänzte durch das rothe Licht, welches im Osten fast bis zum Fuhrmanne reichte.

Während dieser Zeit wurde die Magnetnadel sorgfältig beobachtet, und man erhielt eine östliche Ablenkung von mehr als 1 Grad. Die Nadel zeigte keine plötzlichen Stöße, sondern langsame und unregelmäßige Veränderungen. Das Nordlicht dauerte bis zur Morgendämmerung, welche seine letzten Spuren auslöschte.

Die zu Pisa von Matteuci mitgetheilten Beobachtungen sind sehr wichtig. Seit einigen Tagen war zu Pisa die Temperatur etwas kälter, als sonst in dieser Jahreszeit gewöhnlich ist. Matteuci, der sich eben nach dem Bureau des elektrischen Telegraphen begab, sah drei sehr glänzende Sternschnuppen den Himmel in verschiedenen Richtungen durchlaufen. Gegen 9 Uhr 30 Min. wurden die Maschinen des Telegraphen, welche während des ganzen Tages ihre Schuldigkeit unausgesetzt gethan hatten, plötzlich in ihrem Gange unterbrochen. Man versuchte sie in Gang zu bringen, indem man bald die Kraft des Stromes vergrößerte, bald auf andere Weise an ihnen handirte; allein Alles war vergebens. Von Zeit zu Zeit ging die Nadel ruckweise und blieb dann plötzlich stehen, indem der Anker an dem Elektromagneten hängen blieb. Um 9 Uhr 55 Min. trat Matteuci aus dem Bureau heraus, um den Himmel zu beobachten, und erstaunte über ein röthliches, im Norden über den Wolken befindliches Licht; er erfuhr, daß das Phänomen seit etwa einer Viertelstunde begonnen hatte. Das Licht wuchs an Helligkeit und Ausdehnung immer fort bis $10^1/_2$ Uhr, wo es von einer sehr starken blutrothen Farbe war. Anstatt der Anordnung in einem Bogen sah man große Wolken von mehr oder weniger lebhaft rother Farbe, bald getrennt, bald vereint, die sich manchmal bis zum Zenith erhoben. Zweimal stieg ein langer leuchtender Strahl durch die rothe Wolke in der Richtung des magnetischen Meridians empor. Allmälig verlor das rothe Licht an Stärke, indem es sich mehr östlich ausbreitete, und um 10 Uhr 50 Min. war es vollständig verschwunden. Nach Mitternacht fingen die elektromagnetischen Maschinen an wieder wie gewöhnlich zu gehen, ohne daß in den Säulen oder in den Maschinen selbst die geringste Veränderung vorgenommen worden war.

In England bemerkte man dieselben elektromagnetischen Störungen. Nach Highton war der Telegraph, welcher durch den Watford-Tunnel geht, in der Nacht des 17. November drei Stunden lang unbrauchbar. „Es ist unter diesen Umständen, wie derselbe hinzusetzt, nicht selten, daß die Nadeln gegen die Hemmungsstifte so heftig geworfen werden, wie dies sonst nur durch die in Thätigkeit gesetzten galvanischen Batterien geschieht.“

Hansteen, welcher den Nordlichtern besondere Aufmerksamkeit geschenkt hat, kommt durch seine Beobachtungen zu folgenden allgemeinen Schlüssen *).

---

*) Pogg. Ann. Bd. XXII. S. 536.

1) „Wiewohl die kurzen Tage in den Monaten November, December, Januar und Februar die Beobachtungen des Nordlichtes begünstigen, sieht man es doch häufiger in den Zeiten der Tag- und Nachtgleiche oder bald nach derselben, als in anderen Zeiten des Jahres. Dieses hat schon Mairan bemerkt, und stimmt auch mit meinen mehrjährigen Erfahrungen überein. Die zu der Zeit anfangende Erwärmung oder Abkühlung der Polargegenden muß wohl die Ursache davon sein."

2) „Während aller Nordlichter um die Frühlings- Tag- und Nachtgleiche 1830, bis zu Ende des Jahres, waren die Bewegungen der Magnetnadel fast ausschließlich nach Osten gerichtet; bei den Nordlichtern 1831 waren östliche Bewegungen selten, westliche dagegen die allgemeinsten und sehr groß. Sollte man hierin vielleicht einen Gegensatz finden, da der Nordpol in der Herbst- Tag- und Nachtgleiche abgekühlt, in der Frühlings- Tag- und Nachtgleiche erwärmt wird?"

3) „In den letzten 10 bis 12 Jahren hat die Häufigkeit des Nordlichtes sehr zugenommen, und so häufig wie um diese beiden letzten Tag- und Nachtgleichen habe ich es selbst in meinen Kinderjahren, d. i. seit 1793, hier in Christiania nicht gesehen. Es ist klar, daß wir jetzt am Anfange einer neuen Nordlichtperiode stehen. Die vorige fing 1707 mit dem merkwürdigen Nordlichte an, welches der berühmte Ol. Römer den 1. Februar in Kopenhagen beobachtete (einige wenige schwache waren jedoch einige Jahre früher von ihm bemerkt worden), war um 1752 am stärksten und hörte um 1790 auf, worauf eine Pause von etwa 20 bis 25 Jahren eintrat, während welcher nur im hohen Norden Nordlichter, und noch dazu schwache gesehen wurden."

„Von solchen Perioden habe ich geglaubt seit dem Jahre 502 v. Chr. Geburt bis auf unsere Zeit 24 nachweisen zu können, von welchen besonders die neunte, von 541 bis 603, die zwölfte von 823 bis 887, die zwei und zwanzigste von 1517 bis 1588, und die vier und zwanzigste von 1707 bis 1788 sich durch ungewöhnlich starke und häufige Nordlichter auszeichneten."

„Die größte unordentliche Bewegung der Magnetnadel bei einem Nordlichte innerhalb 24 Stunden ist von Wargentin zu 5°, und von Wilcke sogar zu 5° 30′ beobachtet worden. Während des starken Nordlichtes am 19. April 1831 durchwanderte die Nadel hier in Christiania von 10^h 44′ bis 11^h 31′ einen Bogen von 6° 12′."

Das Resultat, daß die Zahl der Nordlichter um die Zeit der Aequinoctien am größten sei, wird auch anderweitig bestätigt, und ist deshalb besonders interessant, weil daraus hervorgeht, daß nicht gerade zur Zeit der größten Nachtlänge dies Maximum eintritt. Steht somit eine jährliche Periode fest, so ist es doch mit der anderen großen Periode, die man säculäre nennen könnte, nicht so; denn es fehlen hierzu die nöthigen Angaben, da man früher das Erscheinen der Nordlichter nicht so genau registrirte, als es jetzt der Fall ist, sondern nur besonders auffallende, vielleicht mit anderen Ereignissen zufällig zusammentreffende aufzeichnete, weil man hierin einen causalen Zusammenhang zu finden glaubte in ähnlicher Weise, wie mit dem Erscheinen eines Kometen. Die Entscheidung bleibt also der Zukunft noch aufgehoben.

Die Erklärung der Nordlichter hat die Naturforscher vielfach beschäftigt, gleichwohl ist man bis jetzt noch nicht zu einer völligen Entscheidung gekommen.

Musschenbroek u. A. hielten die Nordlichter für verbrennende Dünste; Halley meinte *), die magnetische Materie ströme aus jedem Pole leuchtend nach dem entgegengesetzten, und that damit einen glücklichen Griff, wie sich erst mehr denn 100 Jahre später durch Faraday's Entdeckungen (1831) herausstellte. Cartesius u. A. waren der Ansicht, das Sonnenlicht werde von flachen Eistheilchen, welche in den Polargegenden bis zu bedeutender Höhe über der Erde schweben sollten, zurückgeworfen. Nach Mairan sind die Nordlichter Ausströmungen der Sonnenatmosphäre. Euler suchte sie aus dem Stoße der Sonnenstrahlen gegen die Atmosphäre zu erklären, indem er die Erscheinung für gleichartig mit den Kometenschweifen hielt. Hamilton, Canton, Franklin u. A. hielten die Nordlichter für Erscheinungen elektrischen Lichtes, seitdem Franklin das matte Licht der Elektricität im luftverdünnten Raume kennen gelernt hatte. Die früheren Annahmen, mit Ausnahme der Halley's, enthalten entweder falsche Voraussetzungen oder entsprechen nicht der Erscheinung. Gegen die letztgenannte Theorie hat man eingewendet, daß das Nordlicht nur geringe Aehnlichkeit mit dem elektrischen Lichte im luftleeren Raume habe, wiewohl dies nicht begründet ist, und daß man selbst in den nördlichen Gegenden, wo die Nordlichter zu Hause sind, auch bei starken Nordlichtern keine Spur von Elektricität auch mit den feinsten Elektrometern habe wahrnehmen können. In jenen Gegenden ist aber die Luft sehr trocken und eben durch diesen Umstand wird eine elektrische Entladung, d. h. das Nordlicht in größeren Höhen begünstigt.

Nach Thienemann, der auf Island beobachtete, sind daher die Nordlichter elektrische Entladungen in den feinen Federwolken an derjenigen Grenze des Nordens, wo die Gewitter aufhören. Daß das Nordlicht die lebhaftesten Strahlen dann schoß, wenn in der hohen Luftregion Massen des Cirro-Stratus, die sogenannten Schäfchen, schwebten, und wenn diese so dünn waren, daß ihre Gegenwart nur durch die Entstehung eines Hofes um den Mond erkannt werden konnte, bestätigen in neuerer Zeit die Beobachtungen von Franklin und Richardson nahe am amerikanischen magnetischen Pole und von v. Wrangel an den sibirischen Küsten des Eismeeres **). Man hat auch das Geräusch, welches als begleitende Erscheinung oft erwähnt wird, auf die elektrische Entladung bezogen. Für die elektrische Natur des Nordlichtes spricht am lautesten ihr Einfluß auf die Magnetnadel, wofür wir oben Belege beigebracht haben. A. v. Humboldt sagt (a. a. O. S. 198), Halley's gewagte Vermuthung, daß das Nordlicht eine magnetische Erscheinung sei, hat Faraday's glänzende Entdeckung (Lichtentwickelung durch magnetische Kräfte) zu einer empirischen Gewißheit erhoben. Wenn die Störung des Gleichgewichts in der Vertheilung des Erdmagnetismus eine große Stärke erreicht, so wird dasselbe durch eine von Lichtentwickelung begleitete Entladung wieder hergestellt. Das Nordlicht selbst ist, wie Dove sich ausdrückt, dann nicht als eine äußere Ursache der Störung anzusehen, sondern vielmehr als eine bis zum leuchtenden Phänomen gesteigerte tellurische Thätigkeit, deren eine Seite jenes Leuchten, die andere die Schwingungen der Nadel sind ***).

---

*) Philos. Transact. T. XXIX. (1714—1716) No. 341.

*) v. Humboldt's Kosmos, Bd. I. S. 201.

**) Dove in Pogg. Ann. Bd. XX. S. 341, Bd. XIX. S. 338. Kämtz, Meteorologie, Bd. III. S. 511 ff.

die Deklinationsnadel verhält sich ungefähr wie ein atmosphärisches Elektrometer, dessen Divergenz ebenfalls die gesteigerte Spannung der Elektricität erzeugt, ehe diese so groß geworden ist, daß der Funken (Blitz) überschlagen kann. Die prachtvolle Erscheinung des farbigen Polarlichtes ist der Act der Entladung, das Ende eines magnetischen Ungewitters, wie in dem elektrischen Ungewitter ebenfalls eine Lichtentwickelung, der Blitz, die Wiederherstellung des gestörten Gleichgewichts in der Vertheilung der Elektricität bezeichnet. Das elektrische Ungewitter ist nur gewöhnlich auf einen kleinen Raum eingeschränkt und außerhalb desselben bleibt der Zustand der Luftelektricität ungeändert; das magnetische Ungewitter dagegen offenbart seine Wirkung auf den Gang der Nadel über große Theile der Continente. — Ueber die Erzeugung elektrischer Ströme mittelst des Magnets vergl. Art. Induction, elektrische, Bd. IV. S. 8. — Es erklärt sich hieraus sehr einfach, warum die Nordlichter, wie Hansteen gefunden hat, dann auftreten, wenn die Intensität des Erdmagnetismus zu einer ungewöhnlichen Höhe gestiegen ist, und daß die Intensität während der Entwickelung des Polarlichtes bedeutend geschwächt zu werden scheint. Geht man außerdem von der feststehenden Thatsache aus, daß die Nordlichtsstrahlen mit der Richtung der Neigungsnadel zusammenfallen, so erklären sich auch die verschiedenen Formen, unter welchen das Nordlicht erscheint, aus der verschiedenen Gruppirung dieser Strahlen und der Stellung des Beobachters zu denselben, wenn man dabei nur noch auf den jedesmaligen Neigungswinkel Rücksicht nimmt.

Nur historische Erwähnung verdient die Ansicht von Placidus Heinrich, daß nämlich das Licht der Nordlichter phosphorisch sei und von den durch Insolation leuchtend gewordenen Eismassen herrühre. Kirwan und Parrot behaupten, daß die flackernden Lichtsäulen des Nordlichtes von brennendem Kohlenwasserstoffgase erzeugt würden *). Neuerdings hat James Roß eine Theorie aufgestellt, nach welcher das Nordlicht durch die Wirkung der unter dem Pole stehenden Sonne auf die Schneemassen hervorgerufen werden soll, welche von Strahlen gefärbt werden, die von den Wolken unterhalb des Poles reflectirt, die vorher unsichtbaren erleuchten. Schumacher in Altona vertheidigte diese Theorie, Arago bekämpfte sie in einem nicht veröffentlichten Briefwechsel mit demselben. Nach einer Mittheilung von Roß **) haben die Beobachtungen der wissenschaftlichen Expedition in Bossekop diese Theorie bestätigt, Arago habe indessen die Veröffentlichung hintertrieben. Um die Erscheinung experimental nachzumachen, hat Roß eine große Lampe aufgestellt, welche die Sonne repräsentirt und mit einer Linse versehen ist, in deren Brennpunkt ein richtig eingestellter Erdglobus gebracht wurde. Auf dem Globus war fein gestoßenes Glas aufgehäuft, welches mit verschiedenen in der Baffinsbai beobachteten Farben gefärbt war, um die daselbst vorhandenen Eisgebirge von gefärbtem Eise darzustellen. Zwischen Grönland und Spitzbergen wurde ein leerer Raum gelassen, um damit das Meer anzudeuten. Um endlich auch noch die unterhalb des Poles gelegenen Wolkenschichten anzugeben, welche die gebrochenen Strahlen aufnehmen, legte er ein rothglühendes Eisen auf einen angefeuchteten Schwamm. Indem nun der Globus in eine regelmäßige, tägliche Bewegung versetzt wurde, brachte er das gewöhnlich the merry

*) Parrot, Physik der Erde, S. 495.
**) Inst. 1855. No. 1143. p. 412.

dancers (der lustige Himmelstanz) *) genannte Phänomen hervor und stellte angeblich noch andere Erscheinungen genau so dar, wie man sie beim natürlichen Himmel erblickt. Die Erscheinung verschwand, wenn der Globus die Lage einnahm, daß die das Meer darstellende Gegend die Einfallspunkte der Strahlen enthielt. Hierzu bemerkt Roß noch, daß er auf seiner letzten Reise in den Polargegenden (1850 u. 51) nie ein einziges gefärbtes Eisgebirge gesehen habe. Alle seien gelblich weiß gewesen und im nächsten Winter hätten alle Nordlichter dieselbe Farbe gezeigt. Am Südpole habe man auch noch keine Berge von gefärbtem Eise gesehen und dies stimme auch mit den Südlichtern überein. Die Versuche, in einem finsteren Zimmer angestellt, sollen sehr leicht mit Erfolg ausgeführt werden können **). Da Roß die Beziehungen des Nordlichts zum Magnetismus bei seiner Theorie, so weit dieselbe uns zugänglich gewesen ist, außer Acht läßt, so muß sie mindestens als nicht vollständig angesehen werden. Diese Beziehungen stehen thatsächlich fest und jede Theorie der Nordlichter muß denselben gebührend Rechnung tragen. H. E.

Nordpunkt, s. Abendpunkt.

Nutation, s. Nachtgleichen.

Objectivglas, s. Abweichung, Fernrohr und Mikroskop.

Occident, s. Abend.

Occultation, s. Bedeckung.

Octant, s. Quadrant.

Ocular, s. Fernrohr und Mikroskop.

Oenometer, s. Aräometer, Bd. I. S. 356.

Ofen, s. Heizung.

Ohr, s. Sinnesorgane.

Operment, s. Arsenik.

Opposition, s. Aspecten.

Optik bedeutet seiner Abstammung nach — von der griechischen Stammform ὄπτω, ich sehe, — die Lehre vom Sehen; da aber dasjenige, was als Vermittelndes zwischen dem Auge und dem wahrgenommenen Körper sich geltend macht, Licht genannt wird, so versteht man unter Optik die Lehre von Allem, was durch das Licht bedingt wird, also sämmtliche auf das Licht bezügliche Wissenschaften. Indessen wird Optik außer in dieser weiteren Bedeutung auch noch in einem engeren Sinne gebraucht, nämlich als nur den gewissermaßen einleitenden Theil in sämmtliche optische Wissenschaften bezeichnend, welcher die Lehren von dem geradlinigen Fortgange des Lichtes enthält.

Hiernach würde die Optik im weiteren Sinne umfassen: 1) die Optik im engeren Sinne, d. h. die Lehre von den Hauptgesetzen, nach welchen sich das

*) v. Humboldt's Kosmos, Bd. I. S. 203 und Anmerkung 45 auf S. 441.

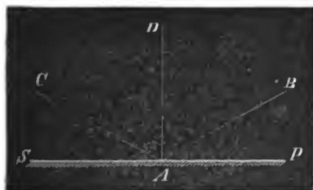
**) Vergl. auch den Bericht über die am 10. bis 15. September 1855 zu Belfast abgehaltene Versammlung des englischen Vereins zur Verbreitung der Wissenschaften.

Licht geradlinig verbreitet und fortpflanzt, wozu die Untersuchung von der Intensität des Lichtes oder die Photometrie, die Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes, die Lehre von der Perspective, desgleichen die vom Schatten gehört; 2) die Reflexion des Lichtes oder die Katoptrik; 3) die Refraction des Lichtes oder die Dioptrik; 4) die Untersuchung des farbigen Lichtes oder die Chromatik; 5) die Interferenz und Inflexion des Lichtes; 6) die doppelte Brechung und Polarisation des Lichtes; 7) das Sehen und die optischen Instrumente.

Ueber diese einzelnen Abschnitte handeln meist besondere Artikel dieses Werkes; namentlich verweisen wir hier auf Art. Licht, Bd. IV. S. 471 ff. In Betreff der Katoptrik mußte hierher verwiesen werden, weshalb wir dieselbe jetzt noch in Rücksicht des Grundgesetzes einer specielleren Besprechung unterwerfen werden. Indessen bemerken wir noch vorher in Bezug auf die Literatur der Optik, daß sich dieselbe am vollständigsten zusammengestellt findet in: Repertorium der Physik von Dove, Bd. II. Berlin 1838. Außerdem machen wir noch für diejenigen, welche in die höhere Optik eindringen wollen, aufmerksam auf: Einleitung in die höhere Optik von A. Beer. Braunschweig 1853.

Die Katoptrik ist der Abschnitt der Optik, welcher von der Zurückwerfung (Reflexion) des Lichtes handelt. Was Zurückwerfung oder Reflexion bedeutet, ist im Art. Licht, Bd. IV. S. 514 und 519 angegeben. Hier betrachten wir das Grundgesetz der Erscheinungen der regelmäßigen Reflexion ins Besondere.

Ist SP (s. beistehende Figur) eine reflectirende Fläche, ein Spiegel, und fällt ein Lichtstrahl BA auf dieselbe, so nennt man den Strahl selbst den einfallenden Strahl oder Einfallsstrahl, den Punkt A, in welchem die reflectirende Fläche von diesem getroffen wird, den Einfallspunkt, eine im Einfallspunkte auf der reflectirenden Fläche Senkrechte AD das Einfallsloth, den Winkel, welchen Einfallsstrahl und Einfallsloth mit einander bilden, den Einfallswinkel, die Ebene, in welcher Einfallsloth und Einfallsstrahl liegen, die Einfallsebene, und den Winkel, welchen der reflectirte Strahl AC mit dem Einfallslothe bildet, also $< CAD$, den Reflexionswinkel.



Die Erfahrung bestätigt nun in allen bis jetzt gemachten Beobachtungen folgendes auch auf theoretischem Wege (s. Art. Licht, Bd. IV. S. 521 u. 523) abgeleitete Reflexionsgesetz, das sogenannte katoptrische Grundgesetz:

1) Der reflectirte Strahl liegt mit dem Einfallsstrahle und dem Einfallslothe in derselben Ebene, nämlich in der Einfallsebene.
2) Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Will man dies Gesetz noch einem besonderen Versuche unterwerfen, was allerdings kaum nöthig scheint, da — wie bereits bemerkt ist — die Erfahrung noch nie mit demselben in Widerspruch getreten ist; so kann man sich folgenden Apparates bedienen.

Ein mit Stellschrauben versehenes Brettchen A B (s. beistehende Figur) enthält in seiner Mitte einen eingelassenen ebenen Spiegel C, auf welchem der Mittelpunkt eines senkrecht zur Spiegelfläche gestellten, in 180° getheilten Halbkreises D E F liegt. Von dem höchsten Punkte E dieses Halbkreises hängt ein Loth E F herab, welches in F eine unten zugespitzte Kugel trägt. Zu beiden Seiten des Lothes sind verschiebbare Diopter G und H angebracht, deren wesentlichen Theil eine nach dem Mittelpunkte des Halbkreises gerichtete feine Durchbohrung ausmacht. Der Nullpunkt der Kreistheilung liegt bei E und die Grade werden von E nach D und F hin bis 90 gezählt. Stellt man nun den Spiegel C horizontal und beide Diopter auf gleiche Grade, so erblickt ein durch G sehendes Auge in der Richtung von G nach dem Mittelpunkte des Halbkreises hin, also unter der Spitze F fort, die Durchbohrung des anderen Diopters H, was nur möglich ist, wenn der durch das Diopter H gegangene Strahl so reflectirt wird, daß er durch das andere Diopter G geht; der Winkel G F E ist mithin gleich dem Winkel H F E. Der Versuch gelingt aber nicht, wenn die Diopter nicht gleich weit von E abstehen, und außerdem nur dann, wenn die Diopterdurchbohrungen mit dem Lothe E F in derselben Ebene liegen, woraus mithin der erste Theil des Gesetzes seine Bestätigung erhält.

Aus diesem Gesetze ergeben sich alle Reflexionserscheinungen als nothwendige Folgen. Flächen, welche nach diesem Gesetze das auffallende Licht zurückwerfen, heißen Spiegel. Ueber das Nähere handelt der besondere Artikel Spiegel, auf welchen wir hiermit verweisen. H. E.

Orient, s. Abend.

Oscillation, s. Pendel.

Osmium (von ὀσμή, Geruch, wegen des starken, eigenthümlichen Geruches des flüchtigen Oxydes). Chemisches Zeichen = Os. Aequivalentgew. = 1242,624 (O = 100) oder 99,569 (H = 1). — Dieses Metall, ein beständiger Begleiter des Platins, wurde 1804 gleichzeitig mit dem Iridium (Bd. IV. S. 125) von Smithson Tennant *) in dem bei der Behandlung mit Königswasser ungelöst bleibenden Rückstande der Platinerze entdeckt. Später war es besonders Berzelius **), der die Verbindungen dieses Metalles, so wie überhaupt die verschiedenen Platinmetalle, näher studirte.

Das Vorkommen des Osmium ist bereits beim Iridium angegeben. Die

*) Phil. Transact. 1804. p. 411.

**) Pogg. Ann. Bd. XIII. S. 527, Bd. XV. S. 209, Bd. XXXI. S. 161.

Darstellung dieses Metalles fällt eben so mit der des Iridiums zusammen; beide Metalle lassen sich sehr leicht trennen, da die Osmiumsäure flüchtig ist. Nach Frémy *) erhält man die Osmiumsäure einfach durch Rösten der Platinrückstände, indem man diese in Glasröhren beim Zutritt der Luft glüht. Die letzten Antheile der Osmiumsäure entzieht man der entweichenden Luft dadurch, daß man sie durch Kalilauge leitet. Beim Zusammenstellen der Apparate bei diesen Operationen muß man aber die Anwendung von Korkstöpseln oder überhaupt von organischen Substanzen vermeiden, weil dadurch die Osmiumsäure reducirt wird. Die Menge der gewonnenen Osmiumsäure beträgt oft 40 Proc. vom Gewicht der in Arbeit genommenen Platinrückstände. Um das Rutheniumoxyd, das zum Theil mit den Dämpfen der Osmiumsäure entweicht, zurückzuhalten, füllt man den vorderen Theil der Glasröhre mit Porzellanstücken; an diese setzt sich das Rutheniumoxyd an, da es schwerer flüchtig ist. Aus der Osmiumsäure reducirt man das Metall durch Digestion mit Chlorwasserstoffsäure und metallischem Quecksilber. Rein erhält man das Osmium durch weitere Behandlung mit Wasserstoffgas in der Hitze. Ferner stellt man das Metall dar aus dem Ammoniumosmiumchlorid, dem man ein Drittel Salmiak hinzugesetzt hat, durch Erhitzen. Nach Vauquelin reducirt man auch das Metall aus der wässerigen, mit Chlorwasserstoffsäure versetzten Lösung der Osmiumsäure vermittelst Zink. — Das Osmium spielt nach Frémy in den Platinerzen eine ähnliche Rolle, wie das Arsen in den Arsenmetallen und der Schwefel in den Glanzen, Kiesen und Blenden.

Gewöhnlich erhält man das Osmium als ein schwarz-graues Pulver, das dem Platin sehr ähnelt. Unter dem Polirstahl nimmt es einen metallischen Glanz an. Auf nassem Wege dargestellt, besitzt das Osmium eine bläuliche Farbe. Es ist ziemlich hämmerbar; man kann es wohl in Platten erhalten, aber diese zerfallen sehr leicht wieder durch Stoß in Pulver. In unseren gewöhnlichen Feuerungen schmilzt und verflüchtigt sich das Osmium nicht. Specifisches Gewicht im compacten Zustande = 10, im pulverförmigen = 7. — Die Verwandtschaft dieses Metalles zum Sauerstoff ist sehr groß. Namentlich im feuchten Zustande verwandelt es sich sehr leicht in Osmiumsäure. Trocken erleidet es jedoch bei gewöhnlicher Temperatur keine Veränderung, sobald man aber das Pulver erhitzt, entzündet es sich und verbrennt zu Osmiumsäure.

Das beste Auflösungsmittel ist verrauchende Salpetersäure; durch gewöhnliche concentrirte Salpetersäure wird es nur langsam aufgelöst, besser schon durch Königswasser. Chlorwasserstoffsäure greift das Metall nicht an. Durch Erhitzen bei Ausschluß der Luft verliert das Osmium die Auflösungsfähigkeit in Säuren, die es wieder erhält, wenn es mit Salpeter zusammengeschmolzen worden ist. Mit Chlor in der Hitze behandelt, verwandelt sich das Osmium theils in Chlorür, theils in Chlorid. Mit den ätzenden und salpetersauren Alkalien bildet sich in der Rothglühhitze Osmiumsäure. Das Osmium macht die Alkoholflamme sehr intensiv leuchtend.

Das Osmium bildet mit dem Sauerstoff sechs verschiedene Verbindungen, von denen die drei höchsten sich als Säuren verhalten. — Das Osmiumoxydul (Os, O) erhält man durch Austreiben des Wassers aus dem Hydrat. Es besitzt

*) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XLIV. p. 385.

eine fast schwarze Farbe und läßt sich von den Verbindungen des Iridiums dadurch unterscheiden, daß es sich sehr leicht zu Osmiumsäure oxydirt. Das Hydrat erhält man durch Fällen einer Lösung des Osmium-Kaliumchlorürs vermittelst Kali. Der Niederschlag sieht grünschwarz aus, mit welcher Farbe er sich auch in Säuren löst. Er wird sehr leicht durch Körper, welche eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff besitzen, reducirt. — Das Osmiumsesquioxydul ($Os^2 O^3$) ist nur in seiner Verbindung mit Ammoniak bekannt. Diese erhält man als Niederschlag, wenn man eine Mischung von Osmiumsäure mit Ammoniak eine Zeit lang auf 50° erwärmt. Er löst sich in Säuren mit gelber Farbe; die Lösungen geben aber keine Krystalle. — Das Osmiumoxyd ($Os O^2$) bildet einen schwarzen Niederschlag, wenn man Kalium-Osmiumchlorid durch eine Lösung von kohlensaurem Kali in der Wärme zersetzt.

Genauer erforscht wie die Oxyde sind die Säuren. Die osmige Säure ($Os O^3$) ist isolirt nicht dargestellt. Für sich zerfällt sie sehr leicht in Osmiumsäure und Oxyd. Das osmigsaure Kali erhält man als rosenrothes Pulver aus einer Auflösung des osmiumsauren Kalis bei Zusatz einiger Tropfen Alkohol. Läßt man eine Lösung von osmiumsaurem und salpetrigsaurem Kali einige Zeit lang ruhig stehen, so bilden sich große granatrothe Krystalle von osmigsaurem Kali. — Das Natronsalz krystallisirt schwieriger. Eine Ammoniakverbindung existirt nicht; die Lösungen der osmigsauren Alkalien werden durch Ammoniak reducirt. — Die wichtigste Verbindung ist die Osmiumsäure ($Os O^4$), die auf verschiedene Art erhalten wird. Sie bildet sich beim Erhitzen von Osmium oder dessen Oxyde in der Luft oder besser im Sauerstoffstrom oder durch Auflösen derselben in Salpetersäure. Man kann sie auch aus den osmiumsauren Alkalien durch andere Säuren ausscheiden. Im wasserfreien Zustande bildet die Osmiumsäure weiße, durchsichtige glänzende Nadeln. Diese zerfließen schon bei einer Temperatur unter 100° und verflüchtigen sich in der dunkeln Rothglühhitze. Auf glühenden Kohlen wird die Osmiumsäure unter heftiger Detonation zersetzt. Sie verbreitet selbst in der Kälte einen sehr durchdringenden Geruch, der an den des Chlorschwefels erinnert. Die Dämpfe rufen einen hartnäckigen Husten hervor; sie greifen ferner die Augen stark an, reizen überhaupt die Haut sehr stark. Der Geschmack der Säure ist ätzend und brennend. Wasser wirkt nur langsam darauf ein, doch löst es beträchtliche Mengen auf. Diese Lösung färbt die Haut und Leinwand schwarz. Durch verschiedene Metalle wird daraus das Osmium reducirt. Alkohol und Aether lösen die Osmiumsäure gleichfalls; aber die Säure wird nach einiger Zeit, besonders durch den Einfluß des Sonnenlichtes reducirt. — Die Osmiumsäure besitzt nur schwach saure Eigenschaften; sie röthet weder Lackmuspapier, noch treibt sie die Kohlensäure aus ihren Verbindungen aus. Ihre Verwandtschaft zu den Alkalien ist gleichfalls sehr schwach; kocht man die Lösungen dieser Verbindungen, so entwickeln sich daraus Dämpfe der Osmiumsäure. — Ueberosmiumsäure ($Os O^5$). Das osmiumsaure Kali absorbirt in wässeriger Lösung Sauerstoff und färbt sich dadurch braun. Beim Verdunsten erhält man braune Krystalle von überosmiumsaurem Kali, welche durch reducirende Substanzen in osmiumsaures Kali verwandelt werden.

Zu erwähnen haben wir noch die Osman-Osmiumsäure ($Os N, Os O^4$), eine aus Osmium, Stickstoff und Sauerstoff bestehende, gepaarte Säure, welche

von Fritzsche und Strube *) entdeckt worden ist. Sie entsteht durch Einwirkung von Ammoniak auf Osmiumsäure und osmiumsaure Salze. In verdünnter Lösung hält sie sich einige Tage. Sie treibt die Kohlensäure aus und bildet eine Reihe von Salzen.

Mit dem Chlor vereinigt sich das Osmium zu vier Verbindungen. Das Osmiumchlorür (Os Cl) bildet dunkelgrüne, sublimirbare Nadeln. Es geht mit verschiedenen Chlorüren Doppelverbindungen ein. Das Osmiumsesquichlorid ($Os^2 Cl^3$) ist nur in der Verbindung mit Chlorammonium bekannt. Osmiumchlorid ($Os Cl^2$) ist ein rothes Pulver. Es bildet gleichfalls Doppelverbindungen. Das Osmiumtrichlorid ($Os Cl^3$) ist gleichfalls nur in seiner Verbindung mit Chlorammonium bekannt. — Die Verbindungen des Osmiums mit den übrigen Elementen sind wenig bekannt. Mit dem Schwefel bildet das Osmium vier Verbindungen: $Os S^2$; $Os S^2$, $Os S^3$; $Os S^3$ und $Os S^4$. — Mit verschiedenen Metallen, wie Quecksilber, Gold, Kupfer, bildet das Osmium Legirungen.

Das Osmium und dessen Verbindungen sind sehr leicht an dem charakteristischen Geruch der Osmiumsäure zu erkennen. Dieser Geruch entwickelt sich beim Kochen der Verbindungen mit Salpetersäure, oder beim Erhitzen des Metalles und der Oxyde an der Luft. W. B.

Ost, s. Abend.

Oxygen, s. Sauerstoff.

Ozon (von ὄζω, ich rieche). Elektrolisirter, oxylisirter, erregter, allotropischer oder activer Sauerstoff. Berzelius und Schönbein sehen dasselbe als eine Modification des Sauerstoffs an. Ersterer giebt den Ozon die Bezeichnung Oα, letzterer $\overset{\circ}{O}$. Nach Baumert aber ist das Ozon, wenigstens zum Theil, auch Wasserstoffhyperoxyd, hydrogenige Säure, HO^3.

Schon den alten Griechen war bekannt, daß sich da, wo der Blitz eingeschlagen hat, ein eigener Geruch verbreite, welchen sie mit dem des brennenden Schwefels verglichen. Mohr lieferte jüngst die Beweise hierfür **), indem er verschiedene Stellen sowohl aus der Ilias als der Odyssee anführte. Ein ähnlicher Geruch verbreitet sich auch beim Drehen einer guten Elektrisirmaschine, besonders wenn die Elektricität aus Spitzen ausströmt oder wenn man elektrische Funken aus dem Conductor überschlagen läßt. Diese Thatsache war den älteren Physikern keineswegs unbekannt. So beobachtete Gardini schon 1793 ***), daß ein Phosphorgeruch entstehe, wenn Elektricität aus Spitzen ausströmt, und daß dieser Geruch durch Ammoniak gebunden werde. Priestley führt ferner an ****), daß bei jeder Bildung von Wasser durch den elektrischen Funken das Gefäß von einem dicken weißen Dampf erfüllt werde, der einen besonderen Geruch habe, ja daß sogar Lackmuspapier dadurch geröthet werde, und schließt daraus, es müsse bei der Wasserbildung eine Säure entstehen. Als van Marum und Paets' van Troostwyk die durch die große Teyler'sche Elektrisirmaschine entbundenen elektrischen Funken von $5^1/_2$ Zoll Länge durch über Wasser gesperrte dephlogistisirte Luft (Sauer-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLI. S. 97. Liebig's Ann. Bd. LXIV. S. 263.
**) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 625.
***) Gehler's Journ. Bd. VII. S. 381.
****) Gree's Journ. Bd. I. S. 98 und 101. Gall's chem. Ann. 1801. Bd. I. S. 156.

stoffgas) 15 Minuten lang, und zwar 5 bis 6 Mal in der Secunde, hindurchschlagen ließen, wurde dieselbe um $^1/_{20}$ vermindert. Als sie diese Luft aus einem Gefäße in ein anderes brachten, bemerkten sie einen starken Geruch, der ihnen sehr deutlich der der elektrischen Materie eigene zu sein schien, allein er war hier weit stärker, als sie ihn je vorher empfunden hatten *). Ferner ist noch Cruikshank anzuführen. Er fand **), daß bei der Zersetzung der Schwefelsäure an der Anode sich Sauerstoffgas entwickelte, welches einen besonderen Geruch hatte, der, wie er sich ausdrückt, dem der sehr verdünnten oxydirten Salzsäure (dem Chlor) gleiche. Bei alledem aber fand man sich nicht veranlaßt, hierüber genauere Untersuchungen anzustellen.

Erst 1839 machte Schönbein von Neuem auf diesen Geruch aufmerksam, als er ihn häufig bei der Zersetzung des Wassers durch die galvanische Batterie beobachtet hatte. Der Geruch zeigte sich hierbei sowohl im Gemisch der beiden Gase als auch an dem Sauerstoffgase. Schönbein war es zuerst, der diesem Gegenstande große Aufmerksamkeit schenkte und darüber eine große Reihe von Untersuchungen anstellte, deren Resultate er sowohl in eigenen Schriften ***) als auch in den Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft in Basel veröffentlichte. Ausführlich hat Schönbein seine Untersuchungen über das Ozon auch in Pogg. Ann. von Bd. L. an mitgetheilt. Obgleich Schönbein hierbei theoretischen Speculationen einen zu großen Spielraum verstattete, und deshalb oft dahin gelangte, ganz unberechtigte Folgerungen aus seinen Versuchen zu ziehen, durch welche selbst die beobachteten Thatsachen in Gefahr kamen beeinträchtigt zu werden, so erlangte das Ozon jedoch bald eine solche Wichtigkeit, daß Berzelius davon sagte ****): „es gebe im Augenblick keine Untersuchung, die von so großer Wichtigkeit sei und solche unerwartete Resultate biete." Durch die sehr interessanten Eigenschaften, die Schönbein an dem Ozon entdeckte, wurden auch viele andere Forscher, wie Marignac *****), de la Rive †), Fischer ††), Osann †††), Williamson ††††), Frémy, Becquerel †††††) und Baumert, veranlaßt, sich diesen Untersuchungen zu widmen. Bei alledem aber können wir nicht sagen, daß die Sache in dem Zeitraum von 17 Jahren ins Reine gebracht worden wäre; gerade die neuesten Untersuchungen von Baumert haben wieder Vieles in Frage gestellt und gezeigt, daß unsere Kenntnisse über das Ozon doch noch sehr mangelhaft sind. Die Acten sind daher noch lange nicht als geschlossen anzusehen;

*) van Marum: Beschreibung einer ungemein großen Elektrisirmaschine und der damit im Teyler'schen Museum in Haarlem angestellten Versuche. Leipzig 1786. S. 25.

**) Gilbert's Ann. Bd. VII. S. 107.

***) Ueber das Ozon. Basel 1844. Ueber die langsame und rasche Verbrennung in atmosphärischer Luft. Basel 1845. Denkschrift über das Ozon. Basel 1849.

****) Jahresb. Bd. XXVII. S. 28.

*****) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XIV. p. 252. Compt. rend. T. XX. p. 808.

†) Compt. rend. T. XX. p. 1291. Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 402.

††) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 163 u. 168. Bd. LXXVI. S. 158.

†††) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 458, Bd. LXV. S. 386, Bd. LXXVII. S. 592, Bd. LXXVIII. S. 98, Bd. LXXXII. S. 158. 531 u. 537. Journ. f. prakt. Chem. Bd. L. S. 209, Bd. LIII. S. 51, Bd. LVII. S. 259, Bd. LVIII. S. 92, Bd. LXVI. S. 105.

††††) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LIV. S. 127, Bd. LXI. S. 13.

†††††) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXV. p. 62. Compt. rend. T. XXXIV. p. 399. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXIV. S. 203.

für spätere Zeiten bleibt noch Vieles zu erforschen übrig. Was bis jetzt über das Ozon bekannt geworden ist, hat Scoutetten in einer eigenen Schrift zusammengestellt *). Eine gleiche Zusammenstellung hat auch Schönbein in Liebig's Annalen für 1854 gegeben, wie er dies schon früher einmal auf Veranlassung von Wackenroder im Archiv der Pharmacie [2] Bd. LXVII. S. 257 gethan hat.

Schönbein zeigte zuerst, daß das Ozon auch auf chemischem Wege gebildet werde. Am leichtesten geschieht dies mit Hülfe des Phosphor. Man bringt in einen Ballon von 50 bis 60 Liter Inhalt ein zwei Zoll langes Stück Phosphor von möglichst reiner Oberfläche und so viel Wasser, daß derselbe etwa zur Hälfte über die Flüssigkeit hervorragt. Die Mündung des Gefäßes wird locker bedeckt und das Ganze einer Temperatur von 16 bis 20⁰ ausgesetzt. Die Anwesenheit des Wassers begünstigt die Bildung des Ozon, weil jenes die hierbei gleichzeitig gebildete phosphorige Säure in sich aufnimmt und dadurch die Oberfläche des Phosphor stets rein erhält. Dies ist eine unerläßlich nothwendige Bedingung für die Bildung des Ozon. Man sieht unter den angegebenen Umständen in dem Ballon bald eine dünne Rauchsäule von Phosphor aufsteigen, an der man den Beginn der Ozonbildung erkennt. Schon nach wenigen Minuten erkennt man das Ozon durch den Geruch und nach einigen Stunden ist die Luft in dem Ballon so mit Ozon erfüllt, daß ein befeuchteter Streifen von Jodkaliumstärkepapier augenblicklich blauschwarz wird. Jetzt entfernt man den Phosphor und das saure Wasser; man schüttelt dann die Luft mit reinem Wasser und nun ist dieselbe geeignet zum Anstellen der meisten, für das Ozon charakteristischen Versuche. Durch 1000 Grm. Phosphor verwandelte Schönbein 1720 Grm. Sauerstoff in Ozon.

Die Bildung des Ozon hängt ab von der Verdampfung des Phosphor. Je rascher der Phosphor verdampft, um so lebhafter findet die Bildung des Ozon statt. Alle Umstände, welche die Verdampfung des Phosphor beschleunigen oder hemmen, üben daher auf die Bildung des Ozon denselben Einfluß. Bei gewöhnlicher Temperatur und in stagnirendem Sauerstoff von gewöhnlicher Dichtigkeit verdampft der Phosphor so langsam, daß sich kein Ozon bildet. Sobald man aber die Verdampfung des Phosphor durch Erhöhung der Temperatur beschleunigt, tritt auch die Bildung des Ozon ein. Sie beginnt bei 24⁰ und wird bei 36⁰ sehr lebhaft. Dasselbe findet schon bei gewöhnlicher Temperatur statt, wenn man das Sauerstoffgas vier oder fünf Mal verdünnt oder wenn man das unverdünnte Sauerstoffgas über Phosphor strömen läßt. Ist hierbei aber kein Wasser vorhanden, durch welches die um den Phosphor sich bildende Säurehülle entfernt wird, so hört die Ozonbildung bald auf. Mit Wasserstoffgas darf man das Sauerstoffgas jedoch nicht verdünnen, denn in diesem Gemisch erzeugt sich bei Gegenwart von Wasser schon bei gewöhnlicher Temperatur das Ozon so lebhaft, daß das in reichlicher Menge auftretende Ozon sofort energisch oxydirend auf den Phosphor einwirkt und dieser, so wie das Wasserstoffgas sich leicht entzündet, so daß also eine heftige Explosion unvermeidlich ist. Eine Verdünnung des Sauer-

*) L'ozone ou recherches chimiques, météreologiques, physiologiques et médicales sur l'oxygène électrisé. Paris, chez Victor Masson. 1856.

stoffgases mit Stickstoff und Kohlensäuregas ist daher vorzuziehen. Alle Gase und Dämpfe, welche, auch nur in kleinen Mengen, der atmosphärischen Luft oder dem Sauerstoffgase beigemischt, das Leuchten oder die langsame Oxydation des Phosphor verhindern, üben denselben Einfluß auf die Ozonbildung aus. Obenan steht in dieser Beziehung das ölbildende Gas. Ferner gehören hierher salpetrige Säure, Untersalpetersäure, schweflige Säure, Schwefelwasserstoff, überhaupt oxydirende Körper. — Dem amorphen Phosphor geht nach Schönbein die Eigenschaft, Ozon zu bilden, durchaus ab. — Wendet man bei der Darstellung des Ozon mittelst Phosphor statt Wasser chemisch reine, völlig chlorfreie Salzsäure von 1,12 specif. Gewicht an, so bildet sich nach Böttger *) das Ozon weit schneller und mit intensiverem Geruch.

Auf chemischem Wege bildet sich das Ozon ferner bei langsamer Verbrennung des Aethers, so wie überhaupt bei dem Verbrennen der Gase. Nach Schönbein soll sich Ozon überhaupt bei allen langsamen Verbrennungsprozessen, so z. B. beim Athmen, beim Verwesen organischer Körper, sowohl der stickstofffreien, als der stickstoffhaltigen, Ozon bilden. Er hält es ferner für möglich, daß das Leuchten des faulen Holzes mit der Ozonbildung im Zusammenhange stehe, eben so die Bildung des Salpeters. Doch werden diese Annahmen durch keine Beweise gestützt.

Die Bildung des Ozon bei der Zerlegung des Wassers durch den galvanischen Strom hängt ab von der Natur und Beschaffenheit der positiven Elektrode, von der chemischen Beschaffenheit der elektrolytischen Flüssigkeit und von der Temperatur beider. In Bezug auf die erste Bedingung ist zu merken, daß Ozon nur dann auftritt, wenn die positive Elektrode aus Gold oder Platin besteht und wenn deren Oberfläche vollkommen rein ist. Besteht der positive Pol aus einem oxydirbaren Metall oder aus Silber oder Kohle, so bemerkt man den Geruch nicht. Besser als reines destillirtes Wasser ist ein solches, dem $^1/_6$ bis $^1/_5$ reine Schwefelsäure zugesetzt worden ist. Salpetersäure, Phosphorsäure, Chromsäure, so wie verschiedene Salze (schwefelsaures Kali und Natron, salpetersaures Kali und Natron, phosphorsaures Natron ꝛc.) verhindern die Bildung des Ozon nicht, aber wohl solche Substanzen, die Sauerstoff aufnehmen, wie Chlor-, Jod- und Bromwasserstoffsäure, Verbindungen der Metalle mit Chlor, Brom, Jod und Schwefel, salpetrige und schweflige Säure, Schwefelwasserstoff, schwefelsaures Eisenoxydul, Zinnoxydulsalze, Zinnchlorür ꝛc. Die Ozonbildung wird sogar verhindert, wenn leicht oxydirbare Substanzen, wie Kohle, Eisenfeilspäne ꝛc., in der Flüssigkeit vertheilt sind; eben so wenn die Flüssigkeit oder die Elektrode erwärmt wird.

Auf diesem Wege werden jedoch nur sehr geringe Mengen von Ozon erzeugt. Am günstigsten ist das Verhältniß, wenn man Schwefelsäure haltende Chromsäure anwendet. Hierbei enthielten 10 Liter Knallgas 1^{mm} Ozon, während bei der Zersetzung des Wassers, das mit $^1/_{10}$ Schwefelsäure versetzt worden war, erst 150 Liter Knallgas dieselbe Menge Ozon enthielten.

Nach Böttger **) erzeugt sich das Ozon nicht blos bei der Zersetzung des Wassers, sondern auch bei dessen Bildung. Verpufft man nämlich Knallgas, so tritt augenblicklich Ozon auf. Senkt man ein Platinblech in das Glas, in

*) Jahresber. d. phys. Vereins zu Frankfurt a. M. 1852. 53. S. 18.
**) Jahresber. d. phys. Vereins zu Frankfurt a. M. 1852. 53. S. 18.

welchem die Verpuffung geschah, so erscheint es nach 5 Minuten negativ polarisirt. Desgleichen wurde Ozon nachgewiesen beim Verbrennen einer Stahlfeder, von Graphit, Diamant und Holzkohle in völlig reinem Sauerstoffgas. Eine besonders starke Reaction trat bei Verbrennung der letzteren auf.

Willigen hat beobachtet *), daß auch auf trockenem Wege durch die galvanische Elektricität Ozon gebildet wird. Wird zwischen den Stäben des Henley'schen Ausladers ein dünner Platindraht ausgespannt und dann der Auslader in den Schließungsbogen einer Grove'schen Batterie eingeschaltet, so wird der Platindraht alsbald weißglühend. Am positiven Ende, also an demjenigen Pole, an welchem im Voltameter Sauerstoff abgeschieden werden würde, spürt man einen sehr deutlichen Ozongeruch.

Schönbein glaubte früher, daß auch bei der Bildung des Ozon durch Einwirkung der Reibungselektricität die Gegenwart von Stickstoff und Wasser durchaus nöthig sei. Doch gelang es de la Rive, Frémy und Becquerel ganz reines und vollständig trockenes Sauerstoffgas in Ozon zu verwandeln. Es ist hierbei gleichgültig, auf welche von den bekannten Arten das Sauerstoffgas dargestellt worden ist. Wendet man anstatt des Sauerstoffgases atmosphärische Luft an, so entsteht neben Ozon auch Salpetersäure. Eben so geht die Bildung des Ozon vor sich, mag der Conductor mit positiver oder negativer Elektricität geladen sein, oder mögen die Ausströmungsspitzen von Holz, Kohle, Platin, Gold oder irgend einem anderen Metall sein; die einzige Bedingung ist die, daß die Spitzen nicht erhitzt sind. Die Menge des gebildeten Ozon steht mit der Länge der Zeit, während welcher das Sauerstoffgas elektrisirt wird, im Verhältniß. Die Bildung des Ozon dauert nur so lange fort, als noch elektrische Funken durch das Gas hindurchschlagen. Elektrisirt man jedoch trocknes Sauerstoffgas für sich in zugeschmolzenen Röhren, so scheint sich, wenn das Durchschlagen der Funken zu lange fortgesetzt wird, die Menge des Ozon zu vermindern, anstatt zu vermehren. Je enger die Röhren, in denen sich das Gas befindet, und je länger die Funken sind, um so größer ist die Menge des Ozon, welche in einer gegebenen Zeit gebildet wird. Quantitativ wird das Ozon dadurch bestimmt, daß man es durch eine Lösung von Jodkalium, die für sich durch den elektrischen Funken nicht zersetzt wird, oder durch Quecksilber oder Silber absorbiren läßt.

Frémy und Becquerel haben die Mengen des durch den elektrischen Funken gebildeten Ozon bestimmt. Bei Anwendung von Röhren, die einen Durchmesser von 1^{mm} und eine Länge von 95^{mm} hatten und die über eine Lösung von Jodkalium aufgestellt worden waren, wurde das darin enthaltene Sauerstoffgas binnen 24 Stunden vollständig in Ozon verwandelt. Als sie das Sauerstoffgas für sich in zugeschmolzenen Röhren, die keine absorbirenden Substanzen enthielten, elektrisirten, wurde der Inhalt einer Röhre von $0{,}8^{mm}$ Durchmesser und 65^{mm} Länge innerhalb 12 Stunden zu $^2/_3$ in Ozon verwandelt; nach weiteren 12 Stunden aber hatte sich die Menge des bereits gebildeten Ozon um die Hälfte vermindert.

Es ist nicht nöthig, daß die elektrischen Funken zwischen den beiden Platindrähten, die in die Glasröhren so eingeschmolzen worden sind, daß sie sich in einer

*) Pogg. Ann. Bd. XCVIII. S. 511.

kleinen Entfernung gegenüber stehen, überspringend ihren Weg durch das Sauerstoffgas hindurchnehmen. Frémy und Becquerel haben gezeigt, daß das Sauerstoffgas auch in Ozon verwandelt wird, wenn man eine damit gefüllte und dann zugeschmolzene Röhre zwischen die Spitzen des Ausladers bringt, so daß die Funken nur auf der Oberfläche der Glasröhre überspringen. Diese Ozonerzeugung ist offenbar die Wirkung einer elektrischen Induction, von Außen durch das Glas in den eingeschlossenen Sauerstoff gehend. Schon früher hatte Schönbein dargethan, daß eine gleiche Inductionswirkung bei jedem Blitzschlage stattfinde. Er beobachtete nämlich, als der Blitz in eine kleine, auf der Rheinbrücke zu Basel stehende Kapelle schlug, daß im Augenblick der heftigen Entladung sowohl alle Räume seiner Wohnung, die einige hundert Schritte entfernt lag, als auch die benachbarten Häuser sich mit einem starken Ozonqualm füllten, so daß jeder Bewohner glaubte, der Blitz hätte in seine eigene Wohnung geschlagen. Der Ozongeruch trat hierbei eben so gut in den Zimmern auf, welche zur Zeit des Blitzschlages verschlossen waren, als in denjenigen Räumen, welche der äußeren Luft freien Zugang gestatteten. Das Ozon konnte daher nicht durch Luftströmungen vom Orte des Blitzschlages hierher geführt werden, sondern mußte an Ort und Stelle selbst erzeugt worden sein. — Wendet man zur Darstellung des Ozon Inductionselektricität an, so dürfen die Funken nicht zu schnell auf einander folgen, weil sonst die Platindrähte in der Glasröhre glühend werden, wodurch das gebildete Ozon wieder zerstört wird.

Auf die einfachste Weise kann man sich von der Entstehung des Ozon auf dem elektrischen Wege dadurch überzeugen, daß man eine etwas stumpfe Metallspitze mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbindet und dann, während letztere in Bewegung ist, vor jene einen befeuchteten Streifen von Jodkaliumstärkepapier hält. Strömt die Elektricität lebhaft aus, so bläut sich das Papier sofort auf das tiefste.

In früherer Zeit glaubte man, daß der eigenthümliche Geruch, der beim Gebrauch der Elektrisirmaschine oder beim Einschlagen das Blitzes auftritt, durch directe Einwirkung der Elektricität auf die Geruchsnerven hervorgebracht werde, also zum Wesen der Elektricität selbst gehöre. Schönbein sprach es zuerst aus, daß dieser Geruch einer eigenen Substanz und nicht der Elektricität angehöre. Er behauptete zuerst, daß diese Substanz in allen Fällen, wie sie auch erzeugt worden sei, immer dieselbe sei; über die chemische Natur derselben hat man doch die verschiedensten Ansichten gehegt, namentlich in der ersten Zeit, wo unsere Kenntniß darüber noch sehr unvollständig war. Schönbein hielt das Ozon anfangs für ein neues Element, das in Verbindung mit dem Sauerstoff oder Wasserstoff den Stickstoff bilde, weil er glaubte, daß das Ozon nur bei Gegenwart von Stickstoff und Feuchtigkeit entstehe. Spätere Untersuchungen haben die Unhaltbarkeit dieser Ansicht klar dargethan. Eben so leicht war es die Meinung von de la Rive zu widerlegen. Er setzte den Geruch auf Rechnung von äußerst feinen metallischen Theilchen, die sich beim Ausströmen der Elektricität losreißen und in der Luft oxydiren sollten. Aber gerade bei heißen Spitzen, die doch, wie man meinen sollte, die Entstehung des Geruches begünstigen sollten, tritt der Geruch nicht auf. Und dann war es ja auch gelungen das Ozon auf chemischem Wege darzustellen; hier konnte selbstverständlich von feinen metallischen Partikelchen nicht die Rede sein. Ferner glaubte man, daß die Wirkungen des auf elektrolytischem Wege

entstandenen Ozon dem Gehalt an salpetriger oder Salpetersäure und die des auf chemischem Wege mit Hülfe von Phosphor gebildeten dem Gehalte von phosphoriger oder Phosphorsäure zuzuschreiben sei. Spätere Untersuchungen warfen auch diese Ansichten über den Haufen; es war leicht, diese Beimengungen, wenn sie wirklich vorhanden, zu entfernen, ohne daß das Ozon seine charakteristischen Eigenschaften verlor. Osann, der sich gleichfalls vorzugsweise damit beschäftigt hat, die Eigenschaften des Ozon festzustellen, war über die chemische Natur desselben noch 1851 so zweifelhaft, daß er sagte *), das Ozon könne entweder eine Modification des Sauerstoffs oder ein noch nicht gekanntes Oxyd des Wasserstoffs, z. B. O + 2H oder ein Halogen-ähnlicher Körper sein. Der Umstand, daß der Geruch, selbst wenn das Ozon mit Wasser geschüttelt wird, nicht verschwindet, führte zu der Annahme, daß das Ozon ein gasförmiger Körper sein müsse und lange Zeit handelte es sich darum, ob das Ozon Sauerstoff oder Wasserstoffsuperoxyd sei, eine Frage, die selbst heute noch nicht ganz sicher entschieden ist. Für die erstere Ansicht sprachen die Untersuchungen zahlreicher Forscher, die alle dargethan hatten, daß absolut trockenes Sauerstoffgas für sich allein in Ozon umgewandelt wird. Die zweite Ansicht stellte zuerst Williamson auf. Er leitete den bei der Zersetzung des Wassers erhaltenen, nach Ozon riechenden Sauerstoff, nachdem er getrocknet worden war, über glühende Kupferspähne, die vorher durch trocknes Kohlenoxydgas vollständig reducirt worden waren, und dennoch bildete sich hierbei Wasser.

Der letzteren Ansicht schloß sich auch Schönbein sehr bald an; während doch auf der anderen Seite nicht zu läugnen war, daß namentlich dasjenige Ozon, das mit Hülfe des elektrischen Funkens aus trocknem und reinem Sauerstoffgas dargestellt worden war, eben nichts weiter als reines Sauerstoffgas sei, wenn auch in einer allotropischen Form. Besitzt auch das Ozon ganz andere Eigenschaften, wie der gewöhnliche Sauerstoff, so sind die Unterschiede hier doch nicht größer wie bei den Modificationen anderer Elemente, namentlich des Phosphor. Diese Thatsache suchte Schönbein durch Spitzfindigkeiten aus dem Wege zu räumen und doch konnte er nicht umhin, anzuerkennen, daß ein Theil des Sauerstoffs in dem Wasserstoffsuperoxyd zu anderen Körpern eine viel größere Verwandtschaft habe, als der gewöhnliche Sauerstoff. Jenen Sauerstoff nennt er oxylisirten Sauerstoff. Später trat Schönbein der Ansicht bei, daß Ozon allotropischer Sauerstoff sei. Hierbei hielt er aber immer noch fest, daß Ozon, auf welche Art es auch erzeugt, dennoch stets identisch sei.

Baumert hat dagegen nachgewiesen **), daß das auf elektrolytischem Wege gebildete Ozon wesentlich verschieden sei von dem, welches beim Durchschlagen elektrischer Funken durch trocknes Sauerstoffgas entsteht; ersteres ist eine Verbindung von Wasserstoff mit Sauerstoff, letzteres allotropischer Sauerstoff. Die Gegenwart des Wasserstoffs in ersterem hat Baumert auf folgende Weise dargethan. Er trieb durch eine lange Glasröhre, in welcher Phosphor verbrannte, einen trocknen Luftstrom und bewirkte dadurch, daß sich in der Röhre ein hauchartiger Anflug von wasserfreier Phosphorsäure ansetzte. Als er nun durch diese Röhre das Sauerstoffgas, welches sich am positiven Pole eines kräftigen elektri-

*) Pogg. Ann. Nr. 4. S. 531.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 38.

schen Apparates entwickelte und das auf das Sorgfältigste getrocknet worden war, strömen ließ, veränderte sich das Ansehen der Phosphorsäure durchaus nicht. So wie er aber die Röhre erhitzte, zersetzte sich das Ozon, es bildete sich Wasser, welches dicht an der erwärmten Stelle die Phosphorsäure zerfließen machte. Baumert bestimmte auch das Verhältniß des Sauerstoffs zum Wasserstoff in diesem Ozon. Bei zwei Versuchen erhielt er folgende Resultate:

	I.	II.	berechnet	
Wasserstoff	4,34	3,76	4,00	1 H
Sauerstoff	95,66	96,24	96,00	3 O.
	100,00	100,00	100,00.	

Hiernach ist also erwiesen, daß das auf elektrolytischem Wege dargestellte Ozon ein Wasserstoffsuperoxyd, oder eine hydrogenige Säure von der Zusammensetzung HO^3 sei. Osann ist dagegen der Ansicht *), daß, wenn für die Zusammensetzung des auf elektrolytischem Wege dargestellten Ozon als dritte Oxydationsstufe des Wasserstoffs kein anderer Grund aufgestellt wird, als der, daß aus demselben bei erhöhter Temperatur Wasser ausgeschieden wird, Baumert's Ansicht allerdings noch in Zweifel gezogen werden könne. Man kann der Auffassung Raum geben, daß das ausgeschiedene Wasser nicht constituirtes, sondern Hydratwasser sei. Außerdem sind auch Zweifel gegen die Richtigkeit der von Baumert aufgestellten Formel erhoben worden **), weil die außerordentlich großen Schwierigkeiten der Untersuchung, trotz der Umsicht, mit der Baumert zu Werke gegangen, immer noch der Vermuthung Raum geben, es sei unmöglich gewesen, die relative Menge Wasserstoff so exact zu bestimmen, daß diese Zusammensetzung unzweifelhaft fest stehe. — Auf der anderen Seite hat sich Baumert von der vollkommenen Abwesenheit jeder Wasserstoffverbindung in demjenigen Ozon, das durch die Einwirkung elektrischer Funken entsteht, überzeugt. Dieses Ozon haben wir daher bestimmt als allotropischen Sauerstoff anzusehen. Die chemische Natur des auf chemischem Wege erzeugten Ozon ist noch nicht festgestellt; diesen hat Baumert nicht in den Kreis seiner Untersuchung gezogen.

In neuester Zeit zieht Andrews ***) die Resultate der Untersuchung von Baumert, die, wenigstens in Deutschland, großen Beifall gefunden hat, sehr in Zweifel. Nach Andrews Versuchen enthält das bei der Elektrolyse des Wassers entstehende Ozon keinen Wasserstoff, sondern das Ozon, aus welcher Quelle es auch stammen möge, ist ein und derselbe Körper von einerlei Eigenschaften und gleicher Beschaffenheit, — Sauerstoff in einem anderen oder allotropischen Zustand. Baumert hat aber nachgewiesen ****), daß die von Andrews angewandte Methode zur quantitativen Bestimmung des Sauerstoffs im Ozon völlig unbrauchbar ist und deshalb sind auch die Schlüsse falsch, die Andrews aus seinen Versuchen zieht. Daß ihm der Nachweis, daß das Ozon beim Erwärmen Wasser ausscheidet, nicht gelingen konnte, erklärt sich gleichfalls. Die von Andrews be-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 106.
**) Chem. Pharm. Centralbl. 1854. S. 310.
***) Pogg. Ann. Bd. XCVIII. S. 435.
****) Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 88.

nutzte Gewichtsmethode ist zudem selbst bei größeren Mengen von Ozon nicht empfehlenswerth.

Eben so wie Andrews versichert auch Houzeau *), daß Ozon, aus welcher Quelle es auch stammen möge, niemals Wasser bildet, wenn es in Gegenwart von Glasstücken oder Kupferoxyd bis zur dunkeln Rothgluth und selbst darüber erhitzt wird. Folglich enthält seiner Ansicht nach das Ozon kein Wasser und ist auch nicht, wie es Baumert scheint bewiesen zu haben, ein Wasserstoffsuperoxyd. Die von Houzeau gegebenen Thatsachen reichen aber noch nicht, wie er meint, überreichlich aus, um zu beweisen, daß das Ozon kein Wasser enthalte. Namentlich bei der Zerlegung von Baryumsuperoxyd durch englische Schwefelsäure, wo der sich entwickelnde Sauerstoff nach Houzeau alle Eigenschaften des Ozon besitzen soll **), könnte sich doch sehr leicht ein Wasserstoffoxyd bilden.

Zu den charakteristischen Eigenschaften des Ozon gehört zunächst der eigenthümliche durchdringende Geruch. Dieser ist so stark, daß selbst Luft, die nur $^1/_{1000000}$ Ozon enthält, noch merkbar darnach riecht. Bei möglichst concentrirtem Ozon wird der Geruch mit dem des Chlor verglichen. Er wird selbst in der stärksten Kälte nicht zerstört und daraus schließt man, daß das Ozon eine eben so beständige Gasart wie der Sauerstoff sei. Wird aber das Ozon bis auf 250° erhitzt, so geht der Geruch verloren, indem das Ozon zersetzt wird. Deshalb nimmt man auch an erhitzten Metallspitzen, aus welchen auch noch so lebhaft Elektricität ausströmt, nicht den geringsten Geruch wahr; nach erfolgter Abkühlung der Spitzen aber tritt sofort der sogenannte elektrische Geruch wieder auf. Nach Andrews tritt schon bei 100° eine langsame Zerstörung des Ozon ein. Er zweifelt selbst nicht, daß das Ozon in einer hermetisch verschlossenen Glasröhre selbst bei der gewöhnlichen Temperatur der Luft allmälig in gewöhnlichen Sauerstoff übergeht. Bringt man Ozon direct mit heißem Wasserdampf in Berührung, so wird es sofort zersetzt. Dasselbe geschieht durch die Kohle, ohne daß hierbei Kohlensäure entstände. Nach Andrews wird das Ozon auch durch Mangansuperoxyd zerstört, ohne daß letzteres dabei an Gewicht zunimmt. Schon früher hat Schönbein gefunden ***), daß das Ozon durch die Oxyde der edlen Metalle, so wie durch Eisen- und Kupferoxyd, ferner durch die Superoxyde von Mangan, Blei, Kobalt und Nickel zerstört wird. Schon verhältnißmäßig kleine Mengen dieser Körper reichen aus, stark ozonisirte Luft augenblicklich geruchlos zu machen. Da hierbei keine chemische Verbindung stattfindet, so wird das Ozon einfach in gewöhnlichen Sauerstoff verwandelt. Eine gleiche desozonisirende Wirkung übt auch der Graphit aus. Durch dieselben Körper wird auch das Wasserstoffsuperoxyd schon bei gewöhnlicher Temperatur in Wasser und Sauerstoff zerlegt und deshalb ist Schönbein der Ansicht, daß der hierbei freiwerdende Sauerstoff als ozonisirter in dem Wasserstoffsuperoxyd enthalten gewesen sei und durch die Einwirkung der genannten Körper einfach desozonisirt werde. Ein Gleiches soll nach Schönbein bei der Entwickelung des Sauerstoffs aus dem chlorsauren Kali erfolgen, da diese sehr leicht vor sich geht, sobald nur äußerst geringe Mengen der genannten Körper zugegen sind.

---

*) Compt. rend. T. XLIII. p. 34. Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 165.
**) Compt. rend. T. XL. p. 947. Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 484.
***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXV. S. 96.

Stark mit Ozon beladene Luft belästigt sehr bald das Athmen, ruft Husten hervor, veranlaßt eine Art von Engbrüstigkeit und verursacht katharrhalische Affectionen. Kleine Thiere sterben bald in einer solchen Luft, weshalb es keinem Zweifel unterworfen ist, daß das reine Ozon höchst giftig und zerstörend auf den thierischen Organismus wirken würde. Wie hierin hat das Ozon auch in elektromotorischer Hinsicht die größte Aehnlichkeit mit Chlor, Brom und Jod und ferner mit den Superoxyden des Silbers, Bleies und Mangans: es ist eminent elektronegativ, denn wenn man einen Streifen von Gold oder Platin auch nur wenige Secunden in eine Ozonatmosphäre taucht, so zeigen sich diese Metalle negativ polarisirt, d. h. sie haben die Eigenschaft erhalten, mit einem gewöhnlichen Gold- oder Platinblech in reines oder angesäuertes Wasser getaucht, einen Strom zu erregen, zu welchem das in Ozon getauchte Metall sich als Kathode verhält. Bringt man das galvanische Element mit einem Galvanometer in Verbindung, so findet eine sehr starke Ablenkung der Nadel im negativen Sinne statt. Die Polarisation der Gold- und Platinstreifen findet nur statt, wenn die Oberfläche vollständig rein ist und wenn die Metallstreifen die gewöhnliche Temperatur der Luft besitzen. Diese hervortretende Eigenschaft kann man als Erkennungsmittel für das Ozon benutzen. An der Luft werden die Metallstreifen allmälig wieder depolarisirt, sehr schnell aber, wenn man sie in Wasserstoffgas taucht. Kupfer und Silber werden weniger stark vom Ozon polarisirt.

Wasser, kaustisches Ammoniak, Barytwasser, Schwefelsäure und trockenes Chlorcalcium absorbiren das Ozon nicht. Nach Andrews soll aber reines Wasser die Eigenschaft besitzen, eine kleine Menge von Ozon zu zerstören. Wird Ozon stark mit atmosphärischer Luft verdünnt, so verschwindet der Geruch gänzlich, wenn man die ozonisirte Luft in einer über Wasser umgekehrten Flasche aufzufangen sucht. Aehnlich verhält sich nach Andrews auch Kalk- und Barytwasser.

Das Ozon hat unter allen bekannten Substanzen die größte Verwandtschaft zu anderen Körpern; es steht bei gewöhnlicher Temperatur noch über dem Chlor. Es ist daher unter allen bekannten oxydirenden Agentien das am kräftigsten wirkende. Schon bei gewöhnlicher Temperatur oxydirt es die Mehrzahl der der Sauerstoffaufnahme fähigen Körper. Es oxydirt sogar Silber und Quecksilber in der Kälte, jedoch nur wenn Feuchtigkeit zugegen ist. Es bildet hierbei oft höhere Oxydationsstufen, als sie sonst durch gewöhnlichen Sauerstoff entstehen. Diese Wirkung zeigt sich viel energischer im directen Sonnenlicht als im gewöhnlichen Tageslicht; der Geruch des Ozon verschwindet hierbei vollständig.

Die wichtigeren Reactionen, die hierbei auftreten, sind folgende. Phosphor wird durch Ozon schon in der Kälte oxydirt, erst zu phosphoriger, dann zu Phosphorsäure. In atmosphärischer Luft, die möglichst stark mit Ozon beladen ist, geht die Oxydation so energisch vor sich, daß der Phosphor durch die hierbei entwickelte Wärme entzündet wird. Schüttelt man ozonisirte atmosphärische Luft mit Kalkwasser längere Zeit, so verschwindet das Ozon und es bildet sich salpetersaurer Kalk; der Stickstoff der Luft wird also zu Salpetersäure oxydirt. Hieraus erkennt man die Möglichkeit der Salpeterbildung ohne Mitwirkung des Stickstoffs thierischer Substanzen, wie sie z. B. in den Höhlen auf Ceylon und an anderen Orten vor sich geht. Aber dennoch ist Schönbein wohl im Unrecht, wenn er aus dieser Thatsache umgekehrt folgert, daß bei der Salpeterbildung und bei der

Verwesung überhaupt sich immer zuerst Ozon bilde und daß dieses sowohl die Salpeterbildung aus dem Stickstoff der atmosphärischen Luft wie aus den thierischen Substanzen veranlasse. Die Salpetersäure, welche nach Schönbein bei der langsamen Verbrennung des Phosphor in atmosphärischer Luft in kleiner Menge neben den Oxydationsproducten des Phosphor auftritt, wie auch, nach Cavendish's und Davy's Erfahrungen, beim Elektrisiren der atmosphärischen Luft und Elektrolysiren stickstoffhaltigen Wassers, wird nach Schönbein's Annahme gleichfalls durch Oxydation des Stickstoffs mittelst Ozon und nicht durch gewöhnlichen Sauerstoff gebildet. Alle Metalle, mit Ausnahme des Goldes und Platin, werden, namentlich im fein zertheilten Zustande, fast augenblicklich durch Ozon oxydirt; oft, wie Blei, Silber, Arsen rc., bis zum Maximum, also zu Blei- und Silbersuperoxyd und Arsensäure. Besonders Silber wird auch im compakten Zustande sehr schnell durch Ozon in Silbersuperoxyd verwandelt. Schönbein hat im Laufe einiger Wochen mit Bequemlichkeit auf diese Art 20 Grm. Silbersuperoxyd dargestellt. — Die Wirkung des Ozon auf die meisten Metalle macht es erklärlich, warum man bei der Darstellung desselben auf elektrolytischem Wege als positive Elektrode nur Gold oder Platin anwenden darf. Die übrigen Metalle werden augenblicklich durch Ozon oxydirt, und dadurch verschwindet der Ozongeruch.

Das Ozon giebt ein Mittel ab, Arsen und Antimon leicht von einander zu unterscheiden. Arsenringe, wie sie nach der Marsh'schen Methode erhalten werden, verschwinden schon nach 15 bis 20 Minuten, wenn man sie mit stark ozonisirter, feuchter Luft in Berührung bringt; es bleibt Arsensäure zurück, die zerfließt und leicht durch Lackmuspapier erkannt werden kann. Antimon oxydirt sich durch Ozon weit langsamer; erst nach mehreren Tagen verliert es den Metallglanz und verwandelt sich in weiße Antimonsäure. Das Verfahren von Cottereau, durch in feuchter Luft verdampfenden Phosphor Antimon und Arsen zu unterscheiden, beruht gleichfalls auf der Bildung von Ozon.

Die Hydrate von Bleioxyd, Kobaltoxyd, Silberoxyd und Manganoxydul werden durch Ozon in Superoxyde verwandelt. Auf diese Art kann aus einer Lösung von schwefelsaurem Manganoxydul alles Mangan als Superoxyd abgeschieden werden. Die Mangansalze dienen daher auch als Reagens auf Ozon. Damit getränktes Papier färbt sich schon nach einer halben Minute deutlich in stark ozonisirter Luft. Luft, in der Chlor-, Brom- oder Untersalpetersäuredämpfe enthalten sind, bräunt ein solches Papier nicht. Eine Schrift oder Zeichnung, mit Mangansulphatlösung ausgeführt, wird daher sichtbar, wenn man sie in ozonisirte Luft bringt. Der Einwirkung von schwefliger Säure ausgesetzt, verschwindet die braune Schrift oder Zeichnung augenblicklich wieder, weil das Superoxyd dadurch wieder in Mangansulphat übergeführt wird. Auch durch die Einwirkung der Luft verschwinden diese Schriftzüge nach und nach wieder, wahrscheinlich weil hier das Papier selbst desoxydirend wirkt. Die braune Färbung durch Ozon tritt noch hervor, wenn in der Lösung nur $^1/_{1000}$ Mangan enthalten ist. — Bringt man Phosphor mit der Lösung eines Manganoxydulsalzes zusammen, so färbt sich diese prächtig roth, indem sich durch das Ozon Uebermangansäure bildet.

Leicht oxydirbare Oxydulsalze, wie die von Zinn, Eisen rc., werden gleichfalls durch Ozon höher oxydirt. — Basisch essigsaures Bleioxyd wird durch Ozon in neutrales übergeführt, unter Umwandlung eines Theiles des Oxyds in Super-

oxyd. Tränkt man Papier mit Bleiessig, so wird es in Ozon erst gelb, dann roth und endlich durch Bildung von Bleisuperoxyd braun.

Schweflige, phosphorige, salpetrige Säure werden durch Ozon in Schwefel-, Phosphor- und Salpetersäure verwandelt. Die Wasserstoffsäuren von Jod, Selen ꝛc. werden unter Ausscheidung von Jod, Selen ꝛc. zerstört. — Eine große Anzahl von Schwefelmetallen werden in ozonisirter Luft rasch oxydirt, d. h. in schwefelsaure Salze übergeführt. Diesen Vorgang kann man sehr leicht beobachten, wenn man weißes Filtrirpapier mit Schwefelblei, Schwefelkupfer, Schwefelquecksilber, Schwefelarsen ꝛc. bestreicht und solche Papierstreifen in feuchter, stark ozonisirter Luft aufhängt, so werden sie rasch und vollkommen gebleicht. Verfährt man auf gleiche Weise mit einem Papierstreifen, der mit Jodtinktur getränkt worden ist, so verschwindet die Farbe gleichfalls sehr rasch; die Farbe tritt aber wieder hervor, sobald man die gebleichten Papierstreifen mit Körpern zusammen bringt, die leicht oxydirt werden, wie Phospor, schweflige Säure, Schwefelwasserstoff, höher oxydirbare Metalloxyde, Schwefelblei und ähnliche Verbindungen; Metalle, wie Zink, Zinn, Kupfer, Kadmium, Eisen ꝛc., üben eine gleiche Wirkung aus. Legt man aber die gebleichten Streifen einige Zeit an die Luft, so verlieren sie den widrigen Geruch und dadurch auch die Fähigkeit, durch die angegebenen Körper wieder gebräunt zu werden. Die Verbindung des Jod mit dem Ozon hat sich verflüchtigt. Wegen der großen Flüchtigkeit dieser Verbindung gelingen die angeführten Versuche besser bei geringerer Temperatur der Luft. Aehnliche Verbindungen bildet das Ozon auch mit Chlor und Brom; sie sind nicht sauer, besitzen aber eine eminent bleichende Kraft. Behandelt man das Ozonjod mit Wasser, so bildet sich Jodsäure unter Ausscheidung von Jod.

Gerade so wie das Chlor scheidet auch das Ozon augenblicklich bei Gegenwart von Feuchtigkeit aus den meisten Jodmetallen Jod aus. Dieses Verhalten ist für das Ozon besonders charakteristisch und daher ist auch Jodkalium, mit Stärke vermischt, ein so äußerst empfindliches Reagens auf Ozon. Die bequemste Art, dieses Gemenge als Ozonreagens anzuwenden, ist nach Schönbein folgende. Ein Theil Jodkalium, zehn Theile Stärke und 200 Theile Wasser werden zu einem dünnen Kleister gekocht. Hiermit bestreicht man weißes Filtrirpapier und zerschneidet dieses zu 4 Zoll langen und $^1/_3$ Zoll breiten Streifen, die man in verschlossenen Flaschen aufbewahrt. Will man diese Streifen als Reagens auf Ozon benutzen, so muß man sie mit destillirtem Wasser befeuchten. Aus dem Weißbleiben oder Blauwerden des Streifens schließt man auf die Ab- oder Anwesenheit des Ozon; man muß hierbei aber gewiß sein, daß keine anderen Körper zugegen sind, die, wie Chlor, Brom, Untersalpetersäure ꝛc., eine gleiche Wirkung ausüben. Auf diese Art läßt sich selbst dann noch Ozon entdecken, wenn uns der Geruch im Stich läßt. Aus der Zeit, in der sich das Papier bläut, schließt man auf die Menge des vorhandenen Ozon. — Die blaue Farbe entsteht durch die oxydirende Einwirkung des Ozon auf das Jodkalium. Es bildet sich nach Marignac und Schönbein zuerst jodsaures Kali; dieses zersetzt sich durch den Ueberschuß von Jodkalium und unter dem Einfluß der Kohlensäure der Luft scheidet sich etwas Jod ab; es bildet sich Jodstärke. Dauert die Einwirkung des Ozon fort, so wird das Jodkalium weiter oxydirt, und zuletzt erhält man neben wenig Jod ein Gemenge von jodsaurem Kali mit wenig kohlensaurem Kali. — Die Zersetzung des Jodkaliums durch Ozon geht im directen Sonnenlicht viel schneller vor

sich als im Tageslicht. Dauert jedoch die Einwirkung des Lichtes längere Zeit an, so verschwindet die blaue Farbe. Durch erneute Einwirkung von Ozon kann sie wieder hervorgerufen und durch das Licht wieder zum Verschwinden gebracht werden und so abwechselnd fort, bis endlich Ozon keine Wirkung mehr ausübt. Dann ist wohl alles Jodkalium in jodsaures Kali verwandelt. — Von Anderen wurde das Blauwerden der Papierstreifen auf Rechnung der Einwirkung des Sauerstoffs und der Kohlensäure oder anderer in der Atmosphäre enthaltenen Säuredämpfe gesetzt. Schönbein hat aber nachgewiesen, daß Jodkalium, sofern es nur frei von jodsaurem Kali ist, bei Gegenwart der angeführten Reagentien Stärkemehl nicht bläut und selbst bei Gegenwart von Dämpfen der Salpetersäure nicht so stark wie Ozon. Dagegen aber enthält das Jodkalium, wie Schönbein gleichfalls nachgewiesen hat, sehr häufig Spuren von jodsaurem Kali und zwar jedesmal, wenn es an der Luft geschmolzen worden ist. Auf diesen Umstand ist wohl zu achten.

Feuchtes Jodkalium oder eine Lösung desselben absorbirt das Ozon; daher kann man dadurch das Ozon von dem gewöhnlichen Sauerstoff trennen.

Kaliumeisencyanür im festen, wie im gelösten Zustande wird durch Ozon in das rothe Cyanid verwandelt unter Bildung von Kali. Bringt man Krystalle des gelben Salzes in eine Ozonatmosphäre, so werden sie von Außen nach Innen allmälig roth und feucht, indem sich Krystallwasser ausscheidet, in welchem sich das gleichzeitig gebildete Kali auflöst. Schüttelt man eine Lösung des gelben Blutlaugensalzes mit ozonisirter Luft, so verschwindet das Ozon gänzlich, indem sich die Flüssigkeit roth färbt und dann stark alkalisch reagirt.

In dem Verhalten zu organischen Substanzen zeigt das Ozon wiederum sehr große Aehnlichkeit mit dem Chlor. Das Ozon wirkt auf die meisten organischen Körper sehr energisch oxydirend ein. Schüttelt man noch so stark ozonisirte Luft mit Holz, Stroh, Stärkemehl, Humus, Weingeist, Eiweiß, Blut, gelöstem Leim rc., so verschwindet der Geruch und die Fähigkeit, Jodkaliumstärkepapier zu bläuen. Kautschuk, selbst vulkanisirter, wird augenblicklich durch Ozon zerstört. Deshalb müssen bei chemischen Untersuchungen des Ozon alle Verbindungen der Apparate durch Zusammenschmelzen oder Einschleifen hergestellt werden.

Pflanzenfarbstoffe, selbst Indigo, werden sehr schnell durch Ozon gebleicht. Dieser Umstand kann vielleicht für spätere Zeiten für die Technik von großer Wichtigkeit werden. Eben so verdient auch das Verhalten der Essighefe gegen Luft untersucht zu werden, ob diese vielleicht die Fähigkeit besitzt, auf den Sauerstoff ozonisirend zu wirken, und dadurch, wie Schönbein es angiebt, die Oxydation des Weingeistes zu Essigsäure veranlaßt.

Nach Schönbein soll die längst in den Apotheken beobachtete Bläuung des Guajakharzes von dem in der atmosphärischen Luft enthaltenen Ozon herrühren und viel schneller in künstlich ozonisirter Luft hervortreten. Auch diese Reaction hält Schönbein für Ozon als eine besonders charakteristische. Er empfiehlt daher auch Papier, das mit Guajaktinktur getränkt ist, als Erkennungsmittel für Ozon. Eben so wie beim Jodkaliumstärkepapier verschwindet auch hier die blaue Farbe am Licht, tritt aber durch Ozon wieder hervor, bis endlich, ganz wie dort, das Ozon keine Wirkung mehr hervorruft. Es muß hier aber bemerkt werden, daß eine große Anzahl von Körpern, wie Untersalpetersäure, Chlor, Brom, Mangan- und Bleisuperoxyd, Metalle (Quecksilber, Silber, Gold, Platin), Eisen-

chlorid, Kupferchlorid, saures chromsaures Kali, übermangansaures Kali, Ferridcyankalium, Silber- und Quecksilberoxyd die Guajaktinktur gleichfalls blau färben. Es ist daher wahrscheinlich, daß sie alle die Eigenschaft besitzen, ozonisirend auf den Sauerstoff zu wirken.

Fragen wir nach der Ursache, durch welche dem Sauerstoff die merkwürdigen Eigenschaften, von denen wir gesprochen, ertheilt werden, so läßt sich darauf bis jetzt keine Antwort geben. Man hat zwar von verschiedenen Seiten Hypothesen aufgestellt, die aber keine genügende Erklärung für dieses merkwürdige Verhalten geben. So sagt man z. B., im Ozon enthalte der Sauerstoff mehr elektronegative Spannung, er sei elektronegativer als der gewöhnliche Sauerstoff. De la Rive stellt die Ansicht auf, daß im Ozon der Sauerstoff in seine einzelnen Atome zerlegt sei und daher eine größere Begierde zeige, sich mit anderen Körpern zu verbinden. — Nach Baumert wird die Umwandlung des Sauerstoffs in Ozon mittelst elektrischer Funken durch die Temperatur bewirkt, die hier von der höchsten Intensität, aber von der kürzesten Dauer sei. Daß das Ozon beim Abkühlen nicht wieder in gewöhnlichen Sauerstoff übergehe, soll in dem zu raschen Abkühlen seinen Grund haben, da die Temperaturgrenze, innerhalb welcher sich das Ozon zersetzt, in einem kürzeren Zeitraum durchlaufen wird, als das Ozon nöthig hat sich umzuändern.

Dem Volumen nach kann man das Ozon quantitativ bestimmen, wenn man es durch feuchtes Jodkalium oder Silber absorbiren läßt. Nach Schönbein kann man die Eigenschaft der Indigolösung, durch Ozon gebleicht zu werden, benutzen, um das Ozon auch dem Gewichte nach quantitativ zu bestimmen. Zu diesem Ende verdünnt man die gewöhnliche Indigolösung so weit mit Wasser, daß die Lösung noch undurchsichtig blau erscheint. Dann versetzt man sie mit einem gleichen Gewicht Chlorwasserstoffsäure und erhitzt die Mischung zum Sieden. Der heißen Flüssigkeit setzt man so lange eine Lösung, die $^1/_{100}$ chlorsaures Kali enthält, hinzu, bis die Farbe braungelb geworden ist. Aus der zugesetzten Menge des chlorsauren Kalis berechnet man, wie viel von der Indigolösung durch 1 Milligrm. Sauerstoff zerstört worden sind. Dann verdünnt man die Indigolösung mit so viel Wasser, daß genau 10 Grm. derselben durch 1 Milligrm. Sauerstoff gebleicht werden. Es ist auch leicht, sich eine Flüssigkeit herzustellen, von der 10 Grm. schon durch $^1/_{10}$ Milligrm. Sauerstoff gebleicht werden. Diese titrirten Lösungen dienen zur quantitativen Bestimmung des Ozon. Aus der verbrauchten Menge der Lösung kann man sehr leicht das Gewicht des Ozon berechnen.

Bei seinen Untersuchungen über das Ozon hat Schönbein gefunden, daß verschiedene Körper, sobald sie längere Zeit mit der Luft, namentlich unter Einfluß des Lichtes, in Berührung gewesen sind, in hohem Grade oxydirend wirken. Ohne sich mit dem Sauerstoff selbst chemisch zu verbinden, beladen sie sich damit und geben ihn sehr leicht an andere oxydirbare Körper wieder ab. Dieser Sauerstoff verhält sich also gerade so wie Ozon; er zeigt auch alle Reactionen desselben. Schönbein nennt die Körper, welche diese Eigenschaft annehmen, oxygenirte. Diese Bezeichnung ist aber falsch, da sie mit oxydirt gleichbedeutend ist. Besser wäre der Name ozonisirt. Am meisten fällt es hierbei auf, daß gerade eine große Anzahl von Substanzen, die selbst leicht oxydirbar sind, die Eigenschaft besitzen. Statt daß sie sich schnell mit dem ozonisirten Sauerstoff verbinden sollten, erfolgt

ihre Oxydation nur sehr langsam. Die Ursache dieses sonderbaren Verhaltens ist noch nicht entdeckt. Man spricht hier zwar von der sogenannten katalytischen Kraft, aber damit ist nichts gewonnen.

Hierher gehören z. B. diejenigen Körper, welche die Guajaktinktur bläuen. Indigotinktur, so wie andere Pflanzenfarben, werden durch Quecksilber, schweflige Säure, Schwefel-, Arsen- und Antimonwasserstoffgas entfärbt, wenn sie mit Wasser und Luft, unter dem Einfluß des Lichtes, geschüttelt werden. Auch Wasser allein zerstört unter dem Einfluß des Lichtes und der Luft die genannten Farben, doch äußert sich hier die Wirkung nur langsam. Auffallend schnell aber tritt diese ein, wenn einige organische, zum Theil sehr leicht oxydirbare Körper zugegen sind. Namentlich nimmt eine große Anzahl von ätherischen Oelen beim Aufbewahren an der Luft eine bleichende Kraft in ziemlich hohem Grade an. Schon seit langer Zeit hat man beobachtet, daß die Korke der Flaschen, in welchen diese Oele aufbewahrt werden, an ihrem unteren Drittel mit der Zeit gebleicht und zerfressen werden, wie wenn sie der Einwirkung von Chlor ausgesetzt gewesen wären. Plummer hat sich in neuerer Zeit genauer mit der entfärbenden Eigenschaft der ätherischen Oele beschäftigt *). Am schnellsten wirken nach ihm Ol. Terebinthin., Juniperi, Pini, Bergemottae, Menthae pip. Zwei bis drei Tropfen Terpentinöl bleichten einen Probircylinder voll Indigoschwefelsäure. Plummer ist der Ansicht, daß sich diese Reaction der ätherischen Oele zur Entdeckung von Verfälschungen werde benutzen lassen. So z. B. wird das Ol. Sabinae mitunter verfälscht gefunden durch Ol. Juniperi ligni und Ol. Terebinth. Reines Ol. Sabinae wirkt kalt auf Indigo gar nicht ein, wogegen Wachholder- und Terpentinöl große Quantitäten der blauen Flüssigkeit entfärben.

Beim Terpentinöl wurde diese Eigenschaft schon von Schönbein entdeckt. Nach ihm wird Terpentinöl, wenn man es in einer Flasche mit Luft unter Einwirkung von Sonnenlicht schüttelt und den Stöpsel der Flasche von Zeit zu Zeit öffnet, um die Luft zu erneuern, sehr bald mit Ozon-Sauerstoff beladen. Zum Theil hängt der Grad der Ozonisirung mit von der Temperatur ab, denn bei niederer Temperatur wirkt das Oel stärker oxydirend als bei höherer. Vielleicht verbindet sich in dieser der Ozonsauerstoff leichter mit dem Oele. Aus demselben Grunde zeigt sich die Bleichkraft nach einiger Zeit schwächer. Schönbein gelang es ein Terpentinöl von solcher Bleichkraft zu erhalten, daß 1 Grm. davon so viel Indigo bleichte, wie 1,5 Grm. Salpetersäure von 1,5 spec. Gewicht oder wie 2 Grm. Chlorkalk.

Ein solches Terpentinöl wirkt auch auf andere Substanzen sehr stark oxydirend. Nach Seitz übt es auf den thierischen Organismus eine bei weitem energischere Wirkung aus als das gewöhnliche Terpentinöl. Fünf Tropfen des ersteren brachten bei Fröschen Starrkrampf hervor und meistens hatte diese Gabe auch den Tod zur Folge, während 20 Tropfen vom gewöhnlichen Terpentinöl diese Wirkungen nicht äußerten. Schönbein ist der Ansicht, daß die bleichende Eigenschaft der ätherischen Oele praktisch zu verwerthen sei. Man könne z. B. dadurch, ähnlich wie nach Thénard's Angabe mit Wasserstoffsuperoxyd, alte Oelgemälde wieder auffrischen.

Auch Leinöl nimmt unter den bewußten Umständen eine ozonisirende Wir-

*) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXXXII. S. 332 u. 334.

kung an, doch eine weit schwächere wie das Terpentinöl. Citronensäure und Weinsäure, so wie Aether nehmen ein stärkeres Bleichungsvermögen an. Der Aether verliert diese Eigenschaft wieder nach mehrfachen Destillationen. Eine geringe Menge ranzigen Fettes benimmt nach Plummer bei einer Temperatur von 60° R. der Indigolösung sehr schnell alle Farbe. Tinct. Galbani und Asae foetidae mit Indigolösung geschüttelt bleichten gleichfalls letztere. — Nach Schönbein zeigen auch einzelne Pflanzengebilde die Reaction des Ozon; so die Kartoffeln, namentlich an der Innenseite der Schale und an den sogenannten Augen.

Osann spricht in neuerer Zeit auch von einem Ozon-Wasserstoff; doch hierüber s. d. Art. Wasserstoff.

Die Art und Weise, wie das Ozon entsteht, mußte sehr bald den eifrigen Forscher, der sich so angelegentlich mit der Erkenntniß dieses merkwürdigen Körpers beschäftigte, darauf hinführen, daß das Ozon ein nie fehlender Bestandtheil unserer Atmosphäre sein müsse. Das Spiel der elektrischen Kräfte ist ja hier fortwährend rege, eine vollständige gegenseitige Ausgleichung der beiden Elektricitäten findet vielleicht niemals und nirgends statt und wir wissen, daß selbst in unseren Breiten auch im Winter die Bedingungen zur Bildung von Gewittern vorhanden sind. Gelegenheiten zur Bildung von Ozon in der Atmosphäre sind also überreich gegeben; es kam nur darauf an, es nachzuweisen. Zuerst versuchte Schönbein dazu die Eigenschaft des Platin, durch Ozon negativ polarisirt zu werden, zu benutzen. Diese Reaction war jedoch nicht fein genug. Die Benutzung von Jodkaliumstärkepapier führte endlich zum Ziele. Die Bereitung dieses Papieres haben wir schon oben angegeben; wir wollen nur noch bemerken, daß man sich hüten muß, das feuchte Papier mit den Händen anzufassen, und daß man es beim Trocknen sorgfältig gegen Staub sichern muß. Die Wahl des Papiers ist nicht gleichgiltig; je dichter dasselbe, um so unempfindlicher ist es. Besser wäre vielleicht ein feines baumwollenes Gewebe. Hängt man solche Papierstreifen in lufthaltigen verstopften Flaschen oder gut verschlossenen Zimmern auf, so bleiben sie weiß; werden sie aber der freien Luft ausgesetzt, z. B. vor das Fenster eines freistehenden Hauses gehängt, so bräunen oder bläuen sich dieselben mehr oder minder rasch, gemäß dem jeweiligen Gehalte der Atmosphäre an Ozon. Wir müssen hier noch einmal darauf hinweisen, daß diese Reaction zuverlässig dem Ozon zuzuschreiben ist. Heller in Wien setzte sie nämlich auf Rechnung der in der Luft enthaltenen freien Salpetersäure, da er gefunden hatte, daß mit Soda getränktes Papier, nachdem es längere Zeit der Luft ausgesetzt worden war, Natronsalpeter enthielt. Durch Schönbein wissen wir aber, daß künstlich ozonisirte Luft mit den Lösungen alkalischer Salzbasen oder deren Carbonaten ziemlich rasch Nitrate bildet. Außerdem hat Schönbein wiederholt nachgewiesen, daß reine, von aller Untersalpetersäure völlig freie verdünnte Salpetersäure das Jodkaliumstärkepapier anfänglich nicht bläut, vorausgesetzt, das Jodkalium enthalte keine Spur von jodsaurem Kali oder irgend eine Materie, die leicht Sauerstoff an das Metall des Jodkaliums abgiebt. Man kann deshalb die atmosphärische Luft so reichlich mit Dämpfen reiner Salpetersäure beladen, daß darin Lackmuspapier sich sehr bald röthet, während Jodkaliumstärkepapier selbst nach einer Stunde noch farblos ist.

Hieraus geht hervor, daß besagtes Reagenspapier zweifelsohne gegen Ozon viel empfindlicher ist als gegen freie Salpetersäure und deshalb Heller's Ansicht, nach welcher die atmosphärische Luft durch ihren Gehalt an freier Salpetersäure nicht nur zahlreiche Oxydationswirkungen hervorbringt, sondern auch einen krank machenden Einfluß auf die Menschen ausübt, welche eine solche Luft einathmen, unrichtig ist.

Es ist keine Frage, daß die Atmosphäre, innerhalb und vermöge welcher alles Leben existirt, sicher unsere größte Aufmerksamkeit verdient. Ihre Beschaffenheit äußert auf unser Befinden, unsere Stimmung, so wie auf das Gedeihen der Pflanzen einen so entschiedenen Einfluß, daß wir selbst geringfügig scheinende Veränderungen ihres normalen Zustandes nicht gleichgiltig an uns vorübergehen lassen dürfen. Bei dem großen Einfluß, den das Ozon auf den thierischen Organismus ausübt, ist es wohl wünschenswerth, das Vorkommen desselben in der Atmosphäre genau zu studiren. Man hat daher seit Jahren ozonometrische Beobachtungen angestellt; zuerst waren es Schönbein und Osann, die ihr Augenmerk auf die Veränderungen des Ozongehaltes in der Atmosphäre richteten. Ihnen sind gefolgt Gräger in Mühlhausen *), Wolff in Bern **), Karlinsky in Krakau ***), Resthuber in Kremsmünster ****) und Schiefferdecker zu Königsberg in Preußen *****).

Eben so wenig wie wir nimmermehr zu einer klaren Einsicht über die Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche oder das Wesen mancher anderen Naturerscheinung gelangt wären, wenn wir das Thermometer oder die Erscheinungen überhaupt nur auf einem einzigen Punkte beobachtet hätten, werden uns die vereinzelten Beobachtungen zu einer genauen Kenntniß über die Funktionen, welche das Ozon im großen Haushalt der Natur zu übernehmen bestimmt ist, verhelfen. Wollen wir dahin gelangen, so müssen die Beobachtungen möglichst vervielfältigt, auf einen großen Landstrich ausgedehnt und überall zu derselben Tageszeit und mit demselben Reagens beobachtet werden. In letzterer Beziehung bleibt selbst noch für die vereinzelten Versuche viel zu wünschen übrig. Nicht allein, daß die Zeit, während der die Reagenspapiere dem Einfluß der Atmosphäre ausgesetzt werden, eine sehr verschiedene ist, sondern fast jeder Beobachter bedient sich anderer Mittel.

Zur Vergleichung der Reactionen hat Schönbein eigends eine Farbenscala construirt, die von Weiß (0) bis Dunkelviolett (10) führt. Solche Ozonometer nach Schönbein's Angabe, denen eine Anweisung zum Gebrauch beigegeben ist, verfertigt schon seit geraumer Zeit der Buchbinder Bürgy in Basel für den Preis von 1 fl. 12 kr. (20,57 Sgr.). Damit kann man während eines Jahres täglich zwei Beobachtungen machen. Osann hat gleichfalls ein Ozonometer construirt und hierbei der Farbenscala 9 Grade gegeben †). Er verfolgte hierbei denselben Weg, den man früher bei Errichtung der ersten Hygrometer einschlug, d. h. er suchte ein Maximum und Minimum der Reaction und zwischen diesen

*) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXIX. S. 278.
**) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 314, Bd. XCIV. S. 335.
***) Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 627.
****) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. XIV. S. 336.
*****) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. XVII. S. 191.
†) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 92.

beiden Punkten eine Scala auszumitteln. Das Minimum fand sich, indem man Jodkaliumstärkepapier eine Stunde lang im Freien der Einwirkung der Luft aussetzte, das Maximum, indem man mehrere Nächte hindurch auf ein solches Papier die Luft einwirken ließ, bis die Farbe nicht mehr an Intensität zunahm. Um die Zwischenstufen zwischen diesen beiden Endpunkten zu erhalten, wurden Reactionspapiere 3, 6, 9, 12, 18 und 24 Stunden der Einwirkung der atmosphärischen Luft im Freien ausgesetzt. Die Reactionen wurden durch Farbenmischungen nachgeahmt und so gegenseitig gesteigert und geschwächt, daß ein gleichmäßiger Verlauf vom Minimum nach dem Maximum stattfand.

Um diese Scala bequem gebrauchen und die Intensität der Färbung durch Vergleichung mit den Graden der Scala genau bestimmen zu können, hat Osann seinem Ozonometer folgende Einrichtung gegeben. In einem Gestelle von Holzstäben stehen zwei Brettchen, jedes ein rechtwinkeliges Dreieck bildend, mit den Hypotenusen sich berührend, vertical in einer Ebene auf einander. Das obere Dreieck B trägt der Hypotenuse entlang die Scala, die vor dem Auge des Beobachters von der Linken zur Rechten in die Höhe steigt. Das untere Dreieck A wird rechts von einer Schraube getroffen, welche auf die verticale Kathete drückt und das Dreieck A unter B zur Linken fortschiebt, so daß B in einer Verticalebene sich hebt. Beim Gebrauche befestigt man dicht unter der Hypotenuse des unteren Dreiecks und nahe an der verticalen Kathete das Reagenspapier, nachdem die Einwirkung der Luft stattgefunden hat. Man bewerkstelligt dann die Verschiebung, bis die Färbung des Reagenspapieres unter eine solche der Scala getreten ist, von der man sie nicht unterscheiden kann.

Nach Gräger würde eine Scala von 5 Graden genügen. Die Farbenveränderungen zwischen je 2 Graden wären zu schätzen und nach Bruchtheilen anzugeben. Er stellt die Scala mit rothem Eisenoxyd her, mit dessen Farbe das durch Ozon abgeschiedene Jod die meiste Aehnlichkeit hat. Für die schwächeren Färbungen wird das Eisenoxyd mit Bleiweiß, oder wohl besser mit Zinkweiß, für die dunkeln mit Berlinerblau versetzt. Um die Reagenspapiere dem Einfluß der Luft auszusetzen, bedient sich Gräger folgender sehr bequemen Vorrichtung. Diese besteht wesentlich aus drei Theilen: 1) einem inneren Cylinder von 2 Zoll Durchmesser und 6 Zoll Höhe, 2) einem zweiten Cylinder von gleicher Höhe, in welchem sich der innere mit sanfter Reibung um seine Axe drehen läßt, weshalb der mittlere Cylinder in seiner Höhlung mit Sammt ausgekleidet wird, und 3) aus einem dritten Cylinder von halber Höhe. Der innere Cylinder ist hohl und ganz, der mittlere hat einen symmetrischen Einschnitt von 1½ Zoll Breite und 4 Zoll Höhe; alle drei werden über einander geschoben. Da der innere Cylinder einen Umfang von nahezu 6 Zoll hat, so wird ein um denselben gelegtes Papierblatt, indem man ihn einmal um seine Axe dreht, durch den Einschnitt des mittleren in 12 Theile getheilt. Der in verticaler Richtung zu bewegende dritte Cylinder ermöglicht es, jenes Blatt Papier in 24 Felder zu theilen, so daß man also 24 Beobachtungen auf einem Blatte vereinigen kann. Je nachdem man täglich eine, zwei oder vier Beobachtungen macht, reicht man damit 24, 12 oder 6 Tage.

Will man dahin gelangen, zu erfahren, welchen Einfluß der Luftdruck, die Wärme, der Feuchtigkeitszustand der Luft, die örtlichen Verhältnisse und die geographische Lage auf die Menge des Ozon in der Atmosphäre ausüben und auf

welche Art das Ozon auf unser Wohlbefinden einwirkt, so müssen die ozonometrischen Beobachtungen mit den meteorologischen, die jetzt ja zu einem System ausgebildet worden sind, verbunden werden. Jene bilden zu diesen eine nothwendige Ergänzung. Allerdings müßte man sich dann über die Beobachtungsnormen verständigen. Am zweckmäßigsten würde es sein, um die größtmöglichste Uebereinstimmung zu erreichen, die Scalen an einem Orte anfertigen zu lassen und sie von diesem zu versenden.

Aus seinen langjährigen Beobachtungen über die Veränderungen des Ozongehaltes in der Atmosphäre hat Schönbein gefunden, daß derselbe durchschnittlich am stärksten im Winter und namentlich bei Schneefällen, wo eine jede Schneeflocke, die auf das Reagenspapier fällt, einen Fleck hinterläßt, am schwächsten im Sommer, ein mittlerer, übrigens sehr veränderlicher, in den beiden übrigen Jahreszeiten ist. Nach den Beobachtungen Anderer, die freilich keine großen Zeiträume umfassen, läßt sich das Gleiche nicht sagen. In der Nähe der Gewitterwolken, wie Schönbein dies auf den Höhen des Jura zu wiederholten Malen beobachtete, ist der Ozongehalt der Luft verhältnißmäßig sehr bedeutend; hier bläuten sich die Papierstreifen schon merklich im Laufe weniger Minuten. Ueberhaupt ist Schönbein überzeugt, daß der Ozongehalt mit der Höhe zunimmt.

Bei der Vergleichung der genaueren Beobachtungen über die Luftelektricität mit den Angaben seines Ozonometers hat Schönbein eine Uebereinstimmung gefunden, und zwar der Art, daß das mittlere Maximum und Minimum der Luftelektricität mit dem mittleren Maximum und Minimum des Ozongehaltes der Atmosphäre in dieselben Jahreszeiten fallen. Bei der Abhängigkeit, in welcher die Erzeugung des atmosphärischen Ozon von der atmosphärischen Elektricität steht, darf man sich über diese Uebereinstimmung nicht wundern; das Ozonometer ist ja ein mittelbares Elektrometer.

Die Thatsache, daß das Ozon trotz der Unaufhörlichkeit seiner Bildung in der Atmosphäre sich nicht im Laufe der Zeit daselbst aufhäuft und daß die niederen Luftschichten durchschnittlich weniger als die höheren damit beladen sind, rührt nach Schönbein wohl hauptsächlich davon her, daß dasselbe theils von der mit organischer, oxydirbarer Materie bedeckten Erdoberfläche, theils von manchen bei der Verwesung pflanzlicher und thierischer Substanzen entstehenden oxydirbaren Gasarten (Kohlen-, Schwefel-, Phosphorwasserstoffgas) zerstört wird. Jodkaliumstärkepapier an solchen Orten, wo derartige luftförmige Verbindungen reichlich entstehen, wie z. B. in Abtritten aufgehängt, wird nicht verändert; eben so wenig auf engen belebten Straßen, oder über verwesenden organischen Körpern. Daher kann Ozon in großen Mengen nicht lange in der Atmosphäre existiren; bald nach seinem Entstehen wird es wieder zerstört. Die überaus große Verwandtschaft des Ozon zu anderen Körpern, die eben das Mittel seiner Zerstörung abgiebt, wird durch die Oekonomie der Natur gefordert; würde sich der Sauerstoff in der Atmosphäre im erregten Zustande befinden, so würde das organische Leben sehr darunter leiden.

Schönbein hat sich durch Versuche überzeugt, daß die stinkenden Miasmen, welche beim Faulen des Fleisches ꝛc. entstehen, durch stark ozonisirte Luft gerade so gut wie durch Chlor zerstört werden, weshalb er auch annimmt, daß das atmosphärische Ozon wesentlich dazu diene, die unaufhörlich in die Atmosphäre auf-

steigenden und durch die Verwesung organischer Materien entstehenden Miasmen zu zerstören und hierdurch die Luft in einer den Fortbestand des thierischen Lebens sichernden Beschaffenheit zu erhalten.

Nach allen Beobachtungen ist der Ozongehalt der Luft während der Nacht bedeutender als am Tage. Von dem größeren procentischen Dunstgehalte der Luft während der Nachtzeit scheint dies doch nicht abzuhängen, denn Gräger hat gefunden, daß selbst an Tagen mit starkem Nebel, wo die Luft 97 Proc. Wasserdampf enthielt, die Papiere sich nur sehr schwach färbten. Osann behauptet dagegen, daß gerade Nebel und Thau, der sich aus höheren Luftschichten niederschlägt, das Reagenspapier sehr bald bläuen, da die sich in der Luft niederschlagende Feuchtigkeit den niederen Schichten Elektricität zuführt. Uebrigens dürfen wir nicht vergessen, daß das Licht einen bleichenden Einfluß ausübt; deshalb schlägt Osann vor, die Papiere nur zur Nachtzeit dem Einfluß der atmosphärischen Luft auszusetzen.

In Bezug auf die Windrichtung scheint man ermittelt zu haben, daß ein Maximum des Ozongehaltes bei den südlichen Winden der Westseite liege. Dies hängt wohl damit zusammen, daß gerade diese Winde uns meistens feuchte Luft mit häufigen Niederschlägen bringen. Will man darüber ins Klare kommen und die eigenthümliche Einwirkung eines jeden Windes kennen lernen, so müßte man neben den stündlichen Aufzeichnungen der Windfahne auch eben solche des Ozonometers anfertigen. Bei dem jetzigen Verfahren, wo die Beobachtungszeit 8 bis 16 Stunden umfaßt, gaben die Farbenveränderungen sehr häufig nur die Summe mehrerer Winde. — Ferner ist der Ozongehalt bei niedrigem Barometerstande größer als bei hohem, weil im ersteren Falle meistens die eben erwähnten Winde vorherrschen.

Schönbein hegt die Ansicht, daß das atmosphärische Ozon manchmal als krankmachende Substanz wirke, namentlich zur Winterszeit, wo dasselbe bisweilen nach seinen eigenen und Anderer Beobachtungen so reichlich in der Atmosphäre auftritt, daß es sich sogar dem Geruchssinne bemerklich macht. Da das künstlich erzeugte Ozon, wie das Chlor, die Schleimhäute zu reizen und zu entzünden vermag, so muß auch das natürlich gebildete Ozon, wenn in hinreichender Menge eingeathmet, die gleiche Wirkung hervorbringen und deshalb vermuthet er, daß manche katarrhalische Affectionen durch atmosphärisches Ozon veranlaßt werden. Schönbein hat sich hierüber in einem Aufsatz, betitelt: „Ueber einige mittelbare physiologische Wirkungen der atmosphärischen Elektricität", der sich in Henle und Pfeufer's Zeitschrift findet, des weiteren ausgelassen. Einige Beobachter, namentlich unter den Aerzten, stimmen Schönbein darin bei, daß das Ozon die Ursache oder doch eine der Ursachen sei, welche das oft in vieler Hinsicht räthselhafte Auftreten und Fortschreiten katarrhalischer Krankheitsprocesse bedingen. Sie wollen zu solchen Zeiten plötzlich eine große Anhäufung von Ozon in der Atmosphäre bemerkt haben. Außerdem hat ein englischer Arzt, Dr. Hunt, angegeben, daß während einer Choleraepidemie die Luft kein Ozon enthalten habe.

In Folge des angeführten Aufsatzes von Schönbein sah sich auch der Verein für wissenschaftliche Heilkunde in Königsberg in Preußen veranlaßt, umfangreiche Beobachtungen hierüber anstellen zu lassen. Es wurde festgestellt, daß vorläufig für ein Jahr Beobachtungen über den Ozongehalt der atmosphärischen Luft in Königsberg und seinen Umgebungen angestellt und genaue Tabellen über alle

acuten Krankheiten geführt werden sollten, damit aus der Vergleichung beider sichere Schlüsse über den positiven und negativen Einfluß des Ozongehaltes der Luft auf die Entstehung und Verbreitung gewisser Krankheitszustände gemacht werden könnten. In dem Bericht, den der Dr. Schiefferdecker nach Verlauf eines Jahres einreichte, heißt es: Wäre die Behauptung von Schönbein richtig, daß das Ozon eine positive Wirkung auf die katarrhalischen Krankheiten und eine negative auf die miasmatischen (Intermittens, Typhus, Cholera, Diarrhöe) ausübt, so hätte der Ozongehalt sein Maximum im November, sein Minimum im September haben müssen; diese Monate zeigen aber gerade einen ziemlich übereinstimmenden mittleren Ozongehalt. Die Vergleichung der Krankheiten mit dem Ozongehalt lehrt überhaupt, daß durchaus keine Beziehung zwischen irgend einer Krankheit und dem Ozongehalte der Luft aufzufinden ist. Auch plötzliche bedeutende Steigerungen des Ozongehaltes wirken durchaus nicht auf die Entstehung katarrhalischer Krankheiten der Respirationsorgane befördernd ein. Diese Folgerungen veranlaßten die Gesellschaft, die Beobachtungen über den Ozongehalt der Luft für die Zukunft ganz aufzugeben.

Schiefferdecker sagt ferner über die von Schönbein angegebene Methode zur quantitativen Bestimmung des Ozongehaltes der Luft, daß sie schon ihrem Principe nach nicht zuverlässig sei und außerdem noch durch meteorologische Verhältnisse, vorzüglich durch Wind und Feuchtigkeit unsicher gemacht werde. Der Ozongehalt der Luft ist an verschiedenen Stellen einer Stadt durch locale, nicht näher zu bestimmende Verhältnisse so verschieden, daß eine einzelne in einer größeren Stadt gemachte Beobachtungsreihe durchaus unzuverlässig ist und daß die aus mehreren gleichzeitig an verschiedenen Stellen derselben Stadt angestellten Beobachtungen gezogenen Mittelwerthe auch nur annähernd richtig sein können. Außerhalb der Stadt ist der Ozongehalt der Luft constant größer und weniger wechselnd als innerhalb derselben. Die Nähe des Wassers, sowohl die der See als die eines stagnirenden Teiches, übt keinen merklichen Einfluß auf die Ozonreaction; eben so wenig die Schwankungen in der täglichen Temperatur und im Stande des Barometers. Dagegen wird sie befördert durch die Feuchtigkeit der Luft und durch die Stärke des Windes; die Richtung des Windes hat dagegen keinen Einfluß. Nach Schiefferdecker ist die Ozonreaction in ihrem Steigen und Fallen proportional einer Zahlenreihe, die aus der Windstärke und dem Feuchtigkeitsgrade der Luft zusammengesetzt ist. W. B.

Packeis, s. Eis.

Palladium, ein Metall. Chemisches Zeichen = Pd. Aequiv. = 665,477 (O = 100) oder 53,323 (H = 1). Von den Metallen, welche das Platin begleiten, wurde das Palladium zuerst entdeckt: 1804 von Wollaston. Schon 1803 kündete ein anonymes Schreiben an, daß bei einem Londoner Handlungshause ein neues Metall, Palladium, zu kaufen sei. Chenevix, der diese Anzeige für betrügerisch hielt, kaufte den ganzen Vorrath an sich. Er hielt das neue Metall für Platinamalgam; er legte der Royal Society in London eine Vorschrift zur Darstellung desselben vor. Dessenungeachtet meldete sich Niemand, als eine

bedeutende Belohnung demjenigen geboten wurde, der auch nur einen Gran Palladium darzustellen vermöge. Mehrere der angesehensten Chemiker damaliger Zeit bemühten sich vergebens, Palladium nach der Methode von Chenevix darzustellen. — Der Name für dieses Metall wurde von dem durch Olbers kurz vorher entdeckten Planeten Pallas abgeleitet. Eine genaue Kenntniß des Palladium und seiner Verbindungen verdanken wir Berzelius.

Das Palladium findet sich gediegen unter den Körnern des brasilianischen Platinerzes; ferner legirt in den Platinerzen von Peru und vom Ural, dann im Goldsande von Brasilien bis zu 5 bis 6 Proc. und in einem anderen südamerikanischen Goldsande sogar bis zu 10 Proc. Nach Zinken kommt es auch in geringer Menge mit Selen am Harz vor. — Nach dem Vorkommen ist auch die Darstellung des Palladium verschieden. Die Platinerze behandelt man mit Königswasser und fällt das Platin größtentheils durch Salmiak. Aus dem Filtrat schlägt man die noch darin enthaltenen Metalle durch metallisches Eisen nieder, löst den Niederschlag wiederum in Königswasser, dampft ein, um die überschüssige Säure zu verjagen, löst den Rückstand in Wasser und versetzt die Lösung mit Cyanquecksilber, wodurch Cyanpalladium niederfällt. Beim Glühen des letzteren bleibt metallisches Palladium in fein zertheiltem Zustande zurück. Das palladiumhaltige Gold löst man in Königswasser, neutralisirt die Lösung mit Pottasche und fällt sogleich Cyanpalladium. Der Palladiumschwamm wird auf dieselbe Art wie das Platin in fest zusammenhängende Stücke verwandelt. Er glüht wie Platinschwamm in einem Strome von Wasserstoffgas.

Das Palladium besitzt eine weiße Farbe und einen Glanz, so daß es in der Mitte zwischen dem Platin und dem Silber steht. Im fein vertheilten Zustande läßt es das Licht mit blutrother Farbe durchfallen. Nach G. Rose krystallisirt es in sechsseitigen Tafeln, welche parallel den Endflächen spaltbar sind. Spec. Gew. des geschmolzenen Metalles = 11,3 und des gehämmerten = 11,86. Die Festigkeit beträgt nach Baudrimont für 1mm Querschnitt bei 0° 36,481 Grm., bei 100° 32,484 Grm. und bei 200° 27,077 Grm. Es ist sehr schwer schmelzbar; im kräftigsten Essenfeuer beginnt es zu schmelzen; vor dem Knallgasgebläse wird es vollständig flüssig. In der Weingeistgluth läßt es sich schweißen und schmieden. Es ist sehr dehnbar, so daß es sich leicht zu dünnen Blättchen und Fäden ausziehen läßt. Erhitzt man das Palladium bei Gegenwart der Luft, so läuft es mit blauer Farbe an. Diese Färbung rührt von einer kleinen Menge Oxyd her, das bei höherer Temperatur wieder reducirt wird.

Wasser zersetzt das Palladium unter keinen Umständen. Durch Salpetersäure und concentrirte Schwefelsäure wird das Palladium in der Hitze aufgelöst. Am leichtesten aber wird es durch Königswasser gelöst. — Man verwendet das Metall, um Theilungen für astronomische Instrumente anzubringen, weil es eben so glänzend wie Silber und nicht wie dieses durch Schwefelwasserstoff geschwärzt wird. Mitunter schlägt man auch Medaillen daraus.

Direct verbindet sich das Palladium mit dem Sauerstoff nicht; wohl aber wenn man es mit Pottasche und Salpeter zusammenschmilzt. Man kennt drei Verbindungen dieses Metalles mit Sauerstoff. Palladiumsuboxyd (Pd^2 O) von Kune entdeckt. Man erhält es, wenn man das Palladiumchlorür durch kohlensaures Kali fällt und den Niederschlag (basisch-kohlensaures Palladiumoxydul) bis zum anfangenden Glühen erhitzt. Es ist ein schwarzes Pulver, das bei starkem

Glühen seinen Sauerstoff verliert. Durch Säuren wird es in Palladiumoxydul und Metall zerlegt. — Palladiumoxydul (Pd O). Wasserfrei erhält man es durch gelindes Glühen des salpetersauren Salzes. Es ist ein dunkelgraues Pulver, das gleichfalls bei höherer Temperatur den Sauerstoff abgiebt. Das Hydrat besitzt eine dunkelbraune Farbe; es wird durch Fällen einer Lösung eines Oxydulsalzes durch kohlensaure Alkalien erhalten. Es ist in verdünnten Säuren leicht löslich. — Die Palladiumoxydulsalze bilden meistens braunrothe Lösungen. Das salpetersaure Palladiumoxydul krystallisirt nicht; mit Ammoniak aber bildet es ein Doppelsalz in schönen Krystallen. — Palladiumoxyd (Pd O^2) ist im isolirten Zustande nicht bekannt. Man erhält es als Hydrat von brauner Farbe, jedoch stets mit Alkali verbunden, wenn man Palladiumchlorid durch kaustische oder kohlensaure Alkalien fällt. Bei mäßigem Erhitzen verliert es die Hälfte seines Sauerstoffs, bei höherer Temperatur wird es vollständig reducirt. Das Hydrat löst sich nur langsam in Säuren mit gelber Farbe. Wendet man in der Fällung Wärme an, so erhält man wasserfreies Oxyd von schwarzer Farbe, jedoch nicht frei von Alkali. — Die Palladiumoxydsalze sind sehr wenig bekannt. — Nach Fischer existirt auch ein Palladiumhyperoxyd. Es soll sich bei Zersetzung des salpetersauren Palladiumoxyduls durch eine Volta'sche Säule am + Pol ausscheiden.

Mit Schwefel, Phosphor, Arsenik und Chlor verbindet sich das Palladium direct. Die wichtigsten Verbindungen sind die mit Chlor, von denen zwei bekannt sind. — Das Palladiumchlorür (Pd Cl) erhält man in dunkelrothen Krystallen aus der Auflösung in Königswasser. Durch Glühen erhält man daraus metallisches Palladium; eben so durch Wasserstoffgas. In Wasser ist das Palladiumchlorür löslich. Mit den Metallchlorüren bildet es zahlreiche Doppelverbindungen. Kaliumpalladiumchlorür (K Cl + Pd Cl) und Ammoniumpalladiumchlorür (N H 4 Cl + Pd Cl) sind wenig löslich in Wasser und unlöslich in Alkohol. Beide bilden schöne Krystalle. Das Natriumpalladiumchlorür (Na Cl + Pd Cl) ist dagegen sehr leicht in Wasser löslich, so daß es selbst in feuchter Luft zerfließt. — Palladiumchlorid (Pd Cl^2) ist nur in Verbindung mit Wasser oder basischen Chlormetallen bekannt. Es ist sehr wenig beständig, so daß es sich leicht in seinen Lösungen zersetzt. Es ist ein vortreffliches Reagens auf Jod, so daß es selbst das Chloroform, Kohlensulfurid und Amylum übertrifft. Es hat den Vorzug, das Jod in seinen salzigen Verbindungen direct anzuzeigen, ohne daß man nöthig hat das Jod erst frei zu machen. Lassaigne hat dadurch 2 Milliontel Kaliumjodid in 2000 Grm. Wasser entdeckt. Es fällt hierbei ein braunes Palladiumjoduret zu Boden. Dadurch kann man das Jod direct bestimmen, wenn es mit Chlor und Bromverbindungen zusammen vorkommt. — Mit dem Chlorkalium und Chlorammonium bildet das Palladiumchlorid Doppelsalze von braunrother Farbe, die wie die entsprechenden Verbindungen des Palladiumchlorürs in Wasser schwer und in Alkohol unlöslich sind. — Das Kaliumpalladiumchlorid (Pd Cl^2 + K Cl) bildet ein krystallinisches Pulver, gebildet durch kleine regelmäßige Octaëder. Es wird leicht zu Kaliumpalladiumchlorür reducirt.

Mit dem Kohlenstoff verbindet sich das Palladium sehr leicht. Es genügt, das Metall in der Flamme einer Spirituslampe zu erhitzen. — Zu dem Cyan hat das Palladium eine so große Verwandtschaft, daß es dadurch aus allen seinen Lösungen niedergeschlagen und von allen Metallen, mit denen es zusammen vorkommt, getrennt wird. Das Palladiumcyanür (Pd Cy) besitzt eine weiße, ins

Graue übergehende Farbe. Beim Fällen desselben darf die Lösung jedoch nicht sauer sein. Durch Glühen wird das Palladiumcyanür zersetzt; es bleibt metallisches Palladium zurück. Mit den Cyan-Alkalien bildet das Palladiumcyanür Doppelsalze.

Wegen der sogenannten Palladiumbasen oder Palladanüre verweisen wir auf die Literatur: Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXVI. S. 341.

Mit vielen Metallen geht das Palladium Legirungen ein, wobei oft eine Feuererscheinung auftritt. Eine Legirung von 1 Th. Silber mit 9 Th. Palladium wird von den Zahnärzten verarbeitet.

Am besten wird das Palladium durch sein Verhalten gegen Cyanquecksilber erkannt. Im verarbeiteten Zustande unterscheidet man das Palladium sehr leicht vom Platin durch Jod; letzteres bringt auf Palladium einen schwarzen Fleck hervor, der beim Glühen wieder verschwindet. Auf Platin übt das Jod keine Wirkung aus. — Quantitativ wird das Palladium durch Glühen des Cyanpalladium bestimmt. W. B.

Pallas, s. Planeten.

Paraffin (von parum affinis, um seine große chemische Indifferenz zu bezeichnen). Formel: $C^{24} H^{24}$. Reichenbach entdeckte diesen Körper zuerst im Theer von Rothbuchenholz *); durch spätere Untersuchungen hat sich ergeben, daß das Paraffin ein sehr allgemeines Product der trockenen Destillation **), besonders harziger und fetter Substanzen, Wachs ***) ꝛc. ist. Man hat daher auch im Theer anderer Holzarten, im Steinkohlentheer, in dem sogenannten thierischen Oel, welches bei der trockenen Destillation thierischer Substanzen gewonnen wird, und im Ruß der Schornsteine Paraffin gefunden. Nach Zeise ****) enthält sogar auch der Tabaksrauch, gleichfalls ein Product der trocknen Destillation, und nach Joß *****) jeder Branntwein, der behufs der Entfuselung mit Kohle behandelt worden ist, Paraffin. Ferner ist dasselbe aufgefunden worden durch Laurent †) unter den Destillationsproducten eines bituminösen Schiefers des Alpenkalkes, der in mächtigen, gewöhnlich zu Tage liegenden Lagern in der Gegend von Autun, so wie auch an anderen Orten auftritt, und durch Simon ††) in dem Theer der Braunkohlen. Von besonderem wissenschaftlichen Interesse war die Entdeckung des Paraffins im Steinöle von Bangoor in Ava durch Gregory †††), und in dem von Tegernsee durch v. Kobell ††††). Hieraus geht hervor, daß das Steinöl gleichfalls als ein Product der trockenen Destillation angesehen werden muß, die durch die Natur selbst bewerkstelligt worden ist. Die Eigenschaft des gewöhnlichen schwarzen Peches, bei mäßiger Wärme in der Hand zu erweichen, beruht gleichfalls auf einem Gehalte an Paraffin.

*) Schweigg. Journ. Bd. LIX. S. 436, Bd. LXI. S. 273.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 161.
***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. II. S. 232.
****) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XLVII. S. 215.
*****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. IV. S. 381.
†) Ann. de Chim. et de Phys. T. LIV. p. 392.
††) Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 160.
†††) Journ. f. prakt. Chem. Bd. IV. S. 1.
††††) Journ. f. prakt. Chem. Bd. VIII. S. 305.

Um das Paraffin zu gewinnen, wird der Theer von Neuem der Destillation unterworfen; die dünnflüssigen Oele fängt man besonders auf bis dahin, wo das Oel dickflüssig und schwerer als Wasser wird. Aus dem letzteren kann man durch erneute Destillation wiederum einen Theil des leichteren Oeles gewinnen. In dem dickflüssigen Rückstande fand Reichenbach eine Menge krystallinischer Schuppen, die sich auf Zusatz großer Mengen von Alkohol reiner ausschieden, indem sich die öligen Theile auflösten. Durch weiteres Behandeln mit siedendem Alkohol erhält man einen festen Körper von blendend weißer Farbe, der in größeren Stücken dem Alabaster und Wallrath ähnlich ist. Das Paraffin ist durchscheinend, leicht zerreiblich, geschmack- und geruchlos. Aus seiner Lösung in Alkohol und Aether krystallisirt es in Nadeln und Blättchen, deren Grundform eine rechtwinkelig vierseitige Säule ist. Spec. Gew. = 0,870. Bei + 43°,75 schmilzt es nach Reichenbach zu einem farblosen Oel. Nach Bunsen *) steigert sich der Schmelzpunkt, wenn das Paraffin unter einem höheren Druck erstarrt und zwar bei einem Druck von 100 Atmosphären zur 46,3° bis auf 49,9°. Zwischen 370 bis 380° C. geräth das Paraffin ins Sieden und destillirt unverändert über. Sollte hierbei eine Färbung eintreten, so rührt diese von beigemengten fremdartigen Substanzen, wie z. B. Staub 2c. her. Das Paraffin (Cerolen) aus dem chinesischen Wachs wird nach Brodie **) durch oft wiederholte Destillationen vollständig in ein Gemisch flüssiger Kohlenwasserstoffe verwandelt, deren Siedepunkt von 75 bis 260° und darüber variirt.

Während das Paraffin in Wasser unlöslich ist, wird es vom Alkohol in geringer, von Aether aber in größerer Menge aufgelöst. 100 Theile absoluter Alkohol lösen in der Siedhitze nur 13,45 Th. Paraffin, Aether dagegen 140 Th. Auch von den ätherischen Oelen wird es in großer Menge aufgenommen, von den fetten Oelen jedoch nur wenig; doch vereinigt sich das Paraffin mit letzteren, so wie mit den festen fetten Säuren, Wallrath, Wachs, Colophonium 2c. sehr leicht.

Merkwürdig ist dieser Körper besonders durch sein indifferentes Verhalten selbst zu den stärksten Agentien. Selbst Chlor übt darauf keine Wirkung aus. Kalium wirkt selbst nicht in der Hitze darauf ein; eben so wenig die stärksten Basen: Kalium, Natrium 2c., wie auch die kräftigsten Säuren: Salzsäure, Schwefelsäure 2c. Deshalb kann man sich der letzteren auch bei der Reindarstellung des Paraffin bedienen. Nur die rauchende Schwefelsäure soll nach Gay-Lussac das Paraffin in der Hitze langsam zersetzen. Nach Hofstädter ***) wirkt aber Salpetersäure auf das Paraffin ein; es bilden sich Bernsteinsäure, Baldriansäure und Buttersäure. Aus einem halben Pfund Paraffin erhielt er 3 Loth Bernsteinsäure.

Der Flamme in Masse dargeboten, brennt das Paraffin nicht; wenn es dagegen beim Zutritt der Luft bis zum Verdampfen erhitzt wird, so läßt es sich leicht entzünden und brennt mit glänzender, nicht rußender Flamme vollständig auf.

Verschiedene Mineralien (Harze), die in größeren oder geringeren Mengen in der Natur vorkommen und ähnliche chemische Eigenschaften besitzen, wie das

*) Monatsber. d. Berl. Akad. 1850. S. 465.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXVII. S. 199.
***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCI. S. 326.

Paraffin, belegt man gemeinschaftlich mit den Namen „mineralisches Paraffin.“ Es sind dies besonders: der Ozokerit oder das Erdwachs *), der Scheerorit **), der Fichtelit ***), das Hatchetin ****), der Hortit *****), der Könlit †), der Irolyt ††), der Leikopetrit †††) ꝛc. Einige von diesen Harzen besitzen jedoch eine andere chemische Zusammensetzung wie das Paraffin. Eben so ist auch nicht anzunehmen, daß das aus verschiedenen Materialien dargestellte Paraffin überhaupt ein und derselbe Körper oder nur ein Körper im chemischen Sinne ist. Hierauf deuten schon die verschiedenen Angaben über den Schmelzpunkt hin, der von 33° (Laurent) bis 62° (Bromeis) mit verschiedenen Mittelstufen variirt. Mehr noch geht dies aus den Untersuchungen von Hofstädter hervor. Paraffin aus der Bonner Fabrik (aus einem bituminösen Schiefer), aus Buchenholztheer und Erdwachs von Boryslow bei Drohobicz in Galizien stimmten in den chemischen Eigenschaften überein; nur der Schmelzpunkt war verschieden (55°; 47°,5 und 60°). Deshalb unterwarf Hofstädter die drei Substanzen der partiellen Krystallisation aus Alkohol, wobei alle drei verschieden geformte Krystalle absetzten und die verschiedenen Portionen, die nach und nach aus dem Alkohol durch Verdunsten abgeschieden wurden, einen verschiedenen Schmelzpunkt besaßen, und zwar ist dieser um so niedriger, je später jene sich abscheiden. Das Paraffin aus Buchenholztheer wurde in drei Portionen zerlegt mit den Schmelzpunkten von 45 bis 48°; das von Bonn in 5 Portionen von 57 bis 61° und das Erdwachs in eilf Portionen von 60 bis 65,5°. Alle diese verschiedenen Portionen hatten die Zusammensetzung des ölbildenden Gases ($C^n H^n$) und deshalb ist das Paraffin als ein Gemisch verschiedener solcher Kohlenwasserstoffe anzusehen.

In neuester Zeit hat das Paraffin dadurch eine erhöhte Wichtigkeit erlangt, daß man es jetzt fabrikmäßig darstellt und daraus Kerzen formt. Schon Reichenbach tränkte damit einen Docht und fand, daß dieser so schön brenne wie eine Wallrathkerze, ohne irgend einen Geruch oder Ruß zu verbreiten. Er sprach es daher schon 1830 gleich nach der Entdeckung des Paraffin aus, daß es dereinst wohl ein wichtiges Material für die Beleuchtung werden könne. Doch erst jetzt, nach 25 Jahren scheint diese Hoffnung in Erfüllung gehen zu wollen. Die Bonner Fabrik ††††) hat zuerst seit einigen Jahren Paraffinkerzen in den Handel geliefert, die sich besonders durch das elegante Aeußere und durch eine hohe Leuchtkraft auszeichneten. Sie brennen mit schöner, großer und weißer Flamme; die Stärke des Dochtes ist so richtig bemessen, daß sich um denselben ein vollkommenes Näpf-

*) Malaguti, Ann. de Chim. et de Phys. T. LXIII. p. 390. Schröter, Baumgartner's Zeitschrift Bd. IV. Nr. 2. Walter, Ann. de Chim. et de Phys. T. LXXV. p. 314. Johnston, Journ. für prakt. Chem. Bd. XIV. S. 226. Hofstädter, a. a. O.

**) Macaire Princep, Pogg. Ann. Bd. XV. S. 296.

***) Bromeis, Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 141. Tromsdorff, Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XXXVII. S. 304.

****) Johnston, Journ. f. prakt. Chem. Bd. XIII. S. 438.

*****) Haidinger, Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 261. Schröter, Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 37.

†) Kraus, Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 141.

††) Haidinger, Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 345.

†††) Brückner, Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 1.

††††). Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXIX. S. 157.

chen bildet, aus welchem keine Spur des geschmolzenen Materials abläuft. Dagegen besitzen diese Kerzen den Fehler, daß sie bei unruhiger Luft, ganz besonders beim Herumtragen, einen ziemlich starken Rauch ausstoßen.

Die Leuchtkraft der Bonner Paraffinkerzen ist zu verschiedenen Malen bestimmt worden. Kohlmann *) benutzte bei seinen Versuchen Paraffinkerzen, 5 auf ein Paket à 20 Sgr., und Stearinlichter, 6 auf ein Paket à 9 Sgr. Erstere wogen 457 Grm., letztere 348 Grm. Hiernach beträgt der Preis eines richtigen Pfundes = 467,71 Grm. bei den Paraffinkerzen 20,47 Sgr. und bei den Stearinkerzen 12,09 Sgr.; erstere sind daher 1,69 Mal theurer als letztere. Der höhere Preis der Paraffinkerzen wurde aber durch die stärkere Leuchtkraft ausgeglichen; diese stellte sich bei den photometrischen Versuchen zu der der Stearinkerzen wie 1,58 : 1. Dazu kam noch, daß in einer bestimmten Zeit 0,2 mehr Stearin als Paraffin verzehrt wurde, so daß also das Paraffin 1,896 Mal so viel Licht entwickelt als eine gleiche Gewichtsmenge Stearin. Beide Umstände geben den Paraffinkerzen den Vorzug vor den Stearinkerzen.

Karsten **) verglich die Paraffinkerzen mit Kerzen von verschiedenen anderen Materialien. Seine Resultate stellen wir dem Wesentlichen nach in folgender Uebersicht zusammen:

Gattung der Kerzen	Lichtstärke der Flamme	Materialverbrauch in 1 Stunde Grm.	Verhältniß der Lichtmenge aus gleichviel Material (Leuchtkraft)
Paraffin . . . . . . 4 im Pfd.	1000	7,244	1000
Wallrath . . . . . 6 " "	850	7,451	826
Wachs . . . . . . 4 " "	473	7,616	450
Künstliches Wachs . . 5 " " (eine bessere Sorte von Stearinsäure)	929	8,858	760
Stearinsäure . . . 4 im Pfd.	850	11,341	543
Talg . . . . 6 " "	869	14,073	448

Die Kosten der verschiedenen Kerzen beliefen sich nach dem Localpreise pro Pfd. (richtiges Gewicht) für:		Der zur Erzeugung gleicher Lichtmengen erforderliche Kostenaufwand stellt sich hiernach wie folgt:	
Paraffin . . .	auf 22,5 Sgr.	1000 oder auf Geld berechnet	22,5 Sgr.
Wallrath . . .	" 34,3 "	1845 " " " "	41,53 "
Wachs	" 21,2 "	2094 " " " "	47,11 "
Künstliches Wachs .	" 17,1 "	1000 " " " "	22,5 "
Stearinsäure . .	" 12,6 "	1031 " " " "	23,20 "
Talg	" 8,2 "	813 " " " "	18,30 "

*) Zeitschr. f. d. gesammt. Naturwissensch. Bd. III S. 49.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIV. S. 366.

Ein Blick auf die angeführten Thatsachen genügt, um starke Zweifel in die Richtigkeit dieser Angaben zu setzen; sie stehen, wie nachstehende Uebersicht zeigt, mit anderen in einem zu großen Widerspruch.

Gattungen der Kerzen	Durchschnittliche Leuchtkraft (Lichtmenge aus gleichviel Material)			
	Peclet	Heeren und Karmarsch	Karsten	
			früher	jetzt
Wachs	1000	1000	1000	1000
Wallrath	1033	1078	—	1835
Stearinsäure . . .	987	840	1213	1207
Talg	801	823	1187	996

Karmarsch *) fand sich dadurch veranlaßt, hierüber neue Untersuchungen anzustellen. Er verwendete hierbei Paraffinkerzen, Stearinsäurekerzen (von mittelmäßiger Qualität) und gegossene Talgkerzen (von sehr guter Qualität); das Pack von jeder Sorte enthielt sechs Kerzen und diese wogen 456,393 und 435 Grm. Von jeder der drei Arten wurden drei Kerzen ausgewählt und mit je einer der drei verschiedenen Arten, also je mit drei Kerzen eine besondere Versuchsreihe angestellt, in der die Helligkeit der drei Flammen fünfmal geprüft wurde. Um die Leuchtkraft der Paraffinkerzen noch bestimmter zu ermitteln, verglich Karmarsch dieselben auch mit Wachskerzen, von denen sich gleichfalls 6 Stück im Pack befanden. Das Pack wog 409 Grm. Mit den Wachskerzen wurden nur 2 Versuchsreihen, je mit fünf Bestimmungen angestellt. Die Wachskerzen waren nicht von vorzüglicher Qualität. Die Resultate dieser sorgfältigen Untersuchung stellen wir in folgender Uebersicht zusammen:

	Lichtstärke der Flamme	Materialverbrauch in einer Stunde Grm.	Verhältniß der Lichtmenge aus gleichviel Material (Leuchtkraft)
Paraffin	1000	8,20	1000
Wachs	583	6,75	724
Stearinsäure	876	9,444	760
Talg	873	7,683	931

Obgleich hiernach die Stearinsäurelichter von einer ziemlich geringen Qualität wären, da die Talglichter eine größere Leuchtkraft besaßen, so stellte sich die Leuchtkraft der Paraffinkerzen doch nur in dem Verhältniß von 1,316 : 1 größer als die der Stearinsäurekerzen. Dies ist genau das Verhältniß, welches Karsten

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 188.

bei den künstlichen Wachskerzen erhalten hat; wogegen nach ihm die gewöhnlichen Stearinsäurekerzen nur ein Verhältniß von 0,543 : 1 oder von 1 : 1,841 darbieten, womit das von Kohlmann gefundene (1 : 1,896) nahe übereinstimmt. — Daß Talg überhaupt eine größere Leuchtkraft entwickelt als Stearinsäure, ist zwar eine nicht gewöhnliche Erscheinung, wurde indessen doch schon in anderen Fällen beobachtet. Nach älteren Versuchen von Karmarsch schwankt die Leuchtkraft der verschiedenen Arten von Kerzen in folgender Weise:

Wachs	zwischen	855 — 1000
Wallrath	„	1045 — 1066
Stearinsäure	„	759 — 880
Talg	„	856 — 921.

Daß die Leuchtkraft der Wachskerzen selbst noch etwas geringer war als die der Stearinsäurekerzen, kann nicht auffallen, da das äußere Ansehen der ersteren schon auf eine untergeordnete Güte schließt.

Die Kosten der verschiedenen Kerzen, welche Karmarsch zu diesen Versuchen verwendete, beliefen sich nach dem Localpreise pro Pfd. (richtiges Gewicht) für

Der zur Erzeugung gleicher Lichtmengen erforderliche Kostenaufwand stellt sich hiernach wie folgt:

Paraffin . . .	auf 20,52 Sgr.	1000 oder auf Geld berechn.	20,52 Sgr.
Wachs . . .	„ 20,00 „	1345 „ „ „ „	27,62 „
Stearinsäure . .	„ 13,85 „	888 „ „ „ „	18,22 „
Talg	„ 8,02 „	421 „ „ „ „	8,61 „

Vergleichen wir die beiden Bestimmungen der Leuchtkraft der verschiedenen Kerzen von Karsten und Karmarsch mit einander und beziehen wir sie sämmtlich auf die Leuchtkraft der Wachskerzen, so ergiebt sich folgende Uebersicht:

	Karsten	Karmarsch
Wachs . . .	1000	1000
Paraffin . . .	2222	1381
Stearinsäure . .	1448	1049
Talg	996	1285.

Der für die Leuchtkraft der Talgkerzen angegebene Werth ist jedoch nur ein idealer, der in der Praxis nie erlangt werden kann. Die Helligkeit ist im günstigsten Moment des Brennens, kurz nach dem Putzen, gemessen worden. Bei rechtzeitigem Putzen des Dochtes beträgt die wirkliche Leuchtkraft, die man in der Praxis erzielt, gewiß um ein Achtel weniger.

Bei dem jetzigen hohen Preise, mit welchem die Paraffinkerzen bezahlt werden, sind sie also noch mehr Luxuskerzen. Bis jetzt wurden sie nur allein von der Bonner Fabrik geliefert und auch nur in geringer Menge; jährlich circa 24,000 Pfd. Die hohen Oelpreise der letzten Jahre haben aber der neuen Beleuchtung mit Mineralöl oder verschiedenen flüssigen Kohlenwasserstoffen (Theerölen) (vergl. d. Art. Lampe, Bd. IV. S. 417) die allgemeine Aufmerksamkeit zugewendet. Bei dem Aufschwunge, welchen die Industrie auch bei uns in der jüngsten Zeit gefunden hat, legte man rüstig Hand ans Werk und suchte eifrig nach Stoffen, die zur Verarbeitung auf die neuen Beleuchtungsmaterialien geeignet

waren. Eine Menge solcher Untersuchungen sind daher veröffentlicht worden *). Die noch vor anderthalb Jahren ausgesprochene Furcht, daß dergleichen Materialien nur sehr wenig in der Natur vorkommen, hat sich nicht bewahrheitet. Die gewöhnliche Braunkohle und der Torf sind sehr gut dazu geeignet und an beiden Stoffen haben wir in unserem Vaterlande keinen Mangel. Daher regt es sich in den verschiedenen Gegenden, die mit diesen Naturproducten gesegnet sind, jetzt mächtig und theils durch Einzelne, theils durch Gesellschaften werden eine große Zahl von Fabriken dieser Art gebaut. So am Rhein, in Westphalen, in Anhalt, der Mark Brandenburg, im Königreich Sachsen, Böhmen, besonders aber in der preußischen Provinz Sachsen an zahlreichen Orten. Ohne Zweifel steht diesem neuen Industriezweige eine große Zukunft bevor. Erinnern wir uns daran, daß das Paraffin die Zusammensetzung des ölbildenden Gases (des reinen Leuchtgases, wie es uns die Gasanstalten freilich nicht liefern) besitzt, so wäre demnach der Ausspruch Liebig's in seinen bekannten chemischen Briefen in Erfüllung gegangen. „Man würde es sicher als eine der größten Entdeckung unseres Jahrhunderts betrachten", heißt es hier, „wenn es Jemandem gelungen wäre, das Steinkohlengas in einen weißen, festen, trockenen, geruchlosen Körper zu verdichten, den man auf Leuchter stecken, von einem Platz zum anderen tragen, oder in ein flüssiges, farb- und geruchloses Oel, das man in Lampen brennen könnte." Gewiß werden die Paraffinkerzen mit der Zeit noch billiger werden, aber bis zu einem Preise von 5 Sgr., wie dies Vohl öffentlich ausgesprochen hat, wird es gewiß nie kommen.

Außer den Braunkohlen und dem Torf finden sich in der Natur auch noch andere Materialien, die sich mit Vortheil fabrikmäßig zu Beleuchtungsstoffen verarbeiten lassen. So z. B. stößt man in der Gegend von Borystow bei Drohobicz in Gallizien nur wenig Spatenstiche tief auf einen bituminösen Thon, der in der 7. und 8. Klafter am meisten mit Bergtheer durchdrungen ist. Hier aber fand man mineralisches Paraffin (Ozokerit) in Ballen von Thon eingeschlossen und zwar in solcher Menge, daß man aus $^2/_3$ Kubikklaftern Thon 220 Pfd. rohen ausgeschmolzenen Ozokerit erhielt. In den unteren Klaftern wird der Thon weniger bitumenreich und erreichte man durch Bohrung bis zur 16. Klafter des Liegende noch nicht. Auch hier macht man Anstalten, den Thon fabrikmäßig auf Beleuchtungsstoffe zu verarbeiten.

Auch an geeigneten bituminösen Schiefern fehlt es in Deutschland nicht. Sehr gut ausgebildet treten sie z. B. in Würtemberg und Baden auf. In dem Stufenlande längs des Gebirgsrandes der schwäbischen und fränkischen Alp erstrecken sie sich vom Rhein bis zum Main in einer Ausdehnung von mehr als 60 Meilen. Dieser reiche Schatz ist mit geringer Mühe zu heben. Denn in geringer Tiefe liegt unter einer festen Decke von nur wenigen Zollen eine wenigstens 8 Fuß mächtige Schicht eines schwarzen bituminösen Mergelschiefers, die Begräbstätte von Millionen vorweltlicher Geschöpfe, in Folge deren Zerstörung die Schieferschicht wie mit Oel getränkt ist. Auf die fabrikmäßige Verarbeitung dieses Materials hat man schon oft aufmerksam gemacht, aber, wie es scheint,

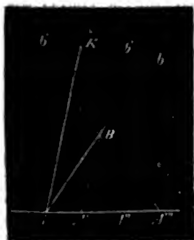
*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVII. S. 9 und 277, Bd. XCVIII. S. 181. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 129. 380 u. 437, Bd. CXXXIX. S. 293, Bd. CXL. S. 63.

vergebens. Die Industrie-Ausstellung in München bot zwar einige Destillationsproducte dieses Schiefers zur Ansicht dar, aber doch nur in äußerst winzigen Mengen, so daß sie sicher nur von Laboratoriumsversuchen herrührten. Auch in der Gegend von Bamberg traten ähnliche Schiefer in großer Mächtigkeit auf.

In Bezug auf die fabrikmäßige Darstellung des Paraffin verweisen wir auf die Literatur *). Nur wollen wir noch bemerken, daß der Leser nicht Alles, was er in diesen Aufsätzen findet, für ein Evangelium halten darf. W. B.

Parallare (von dem griech. παραλλάσσω, ich verändere) heißt im Allgemeinen die Verschiedenheit des scheinbaren Ortes eines Gegenstandes, der von zwei an verschiedenen Orten sich befindenden Beobachtern beobachtet wird, oder welchen derselbe Beobachter von zwei verschiedenen Beobachtungsorten aus betrachtet.

Es ist dies eine allbekannte Erfahrung, daß feststehende Gegenstände ihre Stellung zu einander scheinbar verändern, wenn man sie von verschiedenen Standpunkten aus beobachtet. Betrachtet man z. B. einen Kirchthurm K und einen näher stehenden Baum B von A aus (s. beistehende Figur), so sieht man jenen in der Richtung AK, diesen in der Richtung ABb, beide also unter dem Winkel KAb; nimmt man seinen Standpunkt in A′, so erhält man die beiden Gesichtslinien A′K und A′Bb′, und erblickt nun beide unter dem kleineren Winkel KA′b′, so daß sich B und K scheinbar einander genähert haben; geht man weiter nach A″, so fallen die beiden Gesichtslinien in eine zusammen, der Baum B wird vor dem Thurme K gesehen; kommt man noch weiter, z. B. nach A‴, so tritt der Baum B auf die andere Seite von dem Thurme K und der Winkel KA‴b‴ wird immer größer, je weiter man auf der geraden Linie AA′ sich nach A‴ hin fortbewegt. Der nähere Baum stand erst rechts von dem entfernteren Kirchthurme, dann standen beide in einer Linie, zuletzt sah man den Baum links von dem Thurme. Diese Erscheinung tritt bei Gegenständen, welche in verschiedenen Entfernungen von dem Beobachter stehen, unter denselben Umständen stets ein; man kann daher auf diesem Wege ermitteln, welcher von den beiden Gegenständen der nähere und welcher der entferntere ist. Der Nähere geht nämlich stets scheinbar in entgegengesetzter Richtung mit dem Beobachter. Die Sache ist zu einfach, als daß wir noch länger hierbei verweilen dürfen; indessen wollen wir doch noch ein Beispiel anführen, nämlich das scheinbare Tanzen der Bäume, wenn man auf einer Eisenbahn durch einen Wald fährt.



Besonders wichtig ist die Bestimmung der Parallare für den Astronomen, indem er aus der scheinbaren Ortsveränderung auf die Entfernung des Gestirns schließen kann, und diese ihm in vielen Fällen als Anhalt zu weiteren Bestim-

*) Polytechn. Centralbl. 1850. Nr. 2. 1853. S. 430 und 1445. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXV. S. 138, Bd. CXXXVII. S. 465. Bd. CXXXIX. S. 42. 43. 291. 302 und 316, Bd. CXL. S. 461.

mungen, z. B. der Größe des Gestirns dient. Die Entfernung einer an verschiedenen Orten gleichzeitig beobachteten Sternschnuppe wird z. B. durch die Parallaxe, d. h. durch die Angabe der Sterne, zwischen welchen sie ihren scheinbaren Lauf genommen hat, ermittelt, wenn man die Entfernung der Beobachtungsorte noch dazu nimmt *).

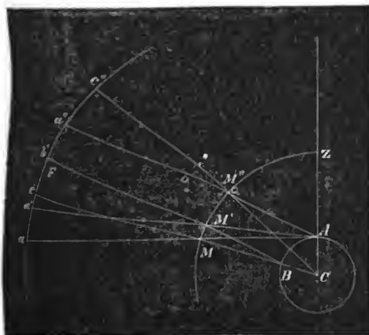
Da der Astronom alle Bestimmungen über die Stellung der Gestirne auf den Mittelpunkt der Erde bezieht, die directen Beobachtungen aber nur auf der Erdoberfläche angestellt werden können, so ergeben sich namentlich für die näheren Sterne: den Mond, die Sonne und die Planeten durch die directe Beobachtung nicht die wahren Oerter. Man unterscheidet daher Parallaxe der Deklination oder Abweichung, Parallaxe der Rectascension oder geraden Aufsteigung, Parallaxe der Breite, worunter man immer den Unterschied des wahren und scheinbaren Ortes in der jedesmaligen speciellen Beziehung versteht. Die allgemeine Aufgabe ist hiernach für den Astronomen: zu bestimmen, an welcher Stelle ein Beobachter im Mittelpunkte der Erde ein Gestirn erblicken würde, wenn man von der Erdoberfläche aus Ortsbestimmungen vorgenommen hat. Die Beantwortung dieser Aufgabe heißt die Bestimmung der täglichen Parallaxe. Die möglichst größte Entfernung der verschiedenen Standpunkte auf der Erdoberfläche, von denen aus Beobachtungen gemacht worden sind, reicht für entferntere Gestirne und für manche Untersuchungen nicht aus; man hat daher, um eine größere Entfernung für die Beobachtungsstationen zu gewinnen, die Erdbahn statt der Erde zu Grunde gelegt, und daher ist eine zweite Aufgabe: zu bestimmen, an welcher Stelle ein Beobachter im Centrum der Sonne ein Gestirn erblicken würde, wobei man die an verschiedenen Stellen der Erdbahn gemachten Beobachtungen zu Grunde legt. Die Beantwortung dieser Aufgabe heißt die Bestimmung der jährlichen Parallaxe. Die größte Entfernung der Beobachtungsstationen bei der täglichen Parallaxe würde der Durchmesser der Erde sein, also etwa 1718 Meilen (Art. Erde, Bd. II. S. 892), bei der jährlichen Parallaxe hingegen der Durchmesser der Erdbahn, also etwa 41 Millionen Meilen.

A) Tägliche Parallaxe. Es sei C (s. umstehende Figur) der Mittelpunkt der Erde, M M′ M″ Z... die Bahn des Mondes, a c b.. das Himmelsgewölbe; der Mond stehe in M′ und werde von A und B aus beobachtet, wobei vorausgesetzt wird, daß diese beiden Stationen in demselben Meridiane liegen. Der Beobachter in A sieht den Mond bei a′, der in B bei b′. Den Bogen a′b′, oder den Winkel $a'M'b' = \angle BM'A$, da man wegen der großen Entfernung des Himmelsgewölbes M′ als Mittelpunkt ansehen kann, nennt man die Ortsparallaxe des Gestirnes M′. Steht der Mond in M so, daß $\angle MAC = 90^0$, also A M A Tangente an A oder Horizont für A ist, d. h. beobachtet man in A den eben aufgehenden (oder untergehenden) Mond, so erblickt man ihn bei a, während ein Beobachter im Mittelpunkte der Erde C ihn bei c sehen würde. In diesem Falle heißt die Parallaxe a c oder $\angle aMc$, oder $\angle AMC$ die Horizontalparallaxe des Gestirnes M. Befindet sich der Mond in M″, so erblickt ihn der Beobachter in A bei a″, der in C bei c″, und die Parallaxe a″c″ oder $\angle a''M''c''$, oder AM″C heißt Höhenparallaxe.

---

*) Vergl. Art. Feuerkugel, Bd. III. S. 148 ff.

Es übersieht sich sofort, daß die Ortsparallare für dieselbe Höhe eines Gestirnes desto größer ist, je weiter die beiden in demselben Meridiane liegenden Beobachtungsorte von einander entfernt sind.



Die Höhenparallare nimmt von dem Horizonte bis zu dem Zenith Z, wo sie Null ist, ab. Nennen wir die Horizontalparallare H, also $< AMC = H$, die Zenithdistanz $M''Z$ oder $< M''AZ = d$, die Höhe MM'' oder $< MAM'' = \alpha$, die Parallare $AM''C = p$; so ist:

$$\sin H = \frac{AC}{MC} = \frac{AC}{M''C},$$

folglich, da $\sin p : \sin M''AC = AC : M''C$ ist,

$$\sin H = \frac{\sin p}{\sin d} = \frac{\sin p}{\cos \alpha}.$$

Da hiernach $\sin p = \sin H . \sin d = \sin H . \cos \alpha$ ist, die Bogen aber in diesem Falle, selbst bei dem der Erde so nahen Monde, von ihren Sinus nicht merklich abweichen, so kann man auch setzen:

$$p = H . \sin d = H . \cos \alpha.$$

Für $\alpha = 0$ ist p am größesten, wächst α, so wird p kleiner und für $\alpha = 90^0$ ist $p = 0$.

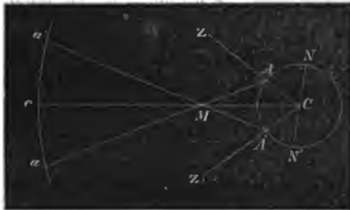
Da die Höhenparallare die Ursache ist, daß die beobachtete Höhe eines Gestirnes zu klein ausfällt, so muß sie, um die wahre Höhe zu finden, zu der beobachteten addirt werden. Schon für die entfernteren Planeten ist die Höhenparallare unbedeutend, für die Firsterne ist sie gar nicht zu bemerken.

Die Horizontalparallare ist, wie wir eben gesehen haben, stets größer, als die Höhenparallare. Denken wir uns einen Beobachter in M, so erblickt dieser den scheinbaren Halbmesser der Erde unter dem die Horizontalparallare angebenden Winkel, z. B. von dem Monde aus in seiner mittleren Entfernung unter ungefähr 57', von der Sonne aus unter etwa 8',5. — Kennt man die Horizontalparallare eines Gestirnes, so kann man mit Leichtigkeit die Entfernung desselben von der Erde bestimmen. Das Dreieck ACM ist bei A rechtwinkelig, außerdem ist nach unserer Annahme $< AMC$ gegeben und endlich ist der Halbmesser der Erde AC bekannt; folglich ist $AC = CM . \sin AMC$, mithin die Entfernung des Gestirnes $= \frac{R}{\sin H}$, oder $= R . \operatorname{cosec} . H$, wenn R den Halbmesser der Erde und H die Horizontalparallare bedeutet.

Zur Bestimmung der Horizontalparallare eines Gestirnes, z. B. des Mondes, kann man auf verschiedene Weise kommen. Gesetzt an dem Orte B befinde sich ein Beobachter, der seine Aufmerksamkeit auf den Mond zu derselben Zeit richtet, in welcher ein anderer Astronom von A aus den Mond beobachtet, für den der-

selbe eben in M aufgeht, so hat der in B den Mond gerade im Zenith. Messen nun beide Beobachter den Abstand des Mondes von einem bestimmten Fixsterne z. B. F, so erhält der eine den Bogen a F, der andere den Bogen c F, und der Unterschied a F — c F giebt die Horizontalparallaxe a c. — Da es jedoch schwierig sein dürfte, die beiden hierzu geeignet liegenden Orte der Erde mit Genauigkeit zu wählen, überdies die Beobachtungen aller Gestirne in der Nähe des Horizontes unsicher sind, so hat man noch auf andere Mittel, die Horizontalparallaxe zu bestimmen, denken müssen.

Nehmen wir an, C (s. beistehende Figur) sei der Mittelpunkt, N N′ die Axe, also N und N′ die Pole der Erde; in demselben Meridiane N A A′ N′ befinden sich in A und A′ Beobachter, für welche also das Gestirn, z. B. der Mond, M gleichzeitig culminirt; beide Beobachter beobachten an demselben Tage die Zenithdistanz des Gestirnes bei seiner Culmination, also die Winkel M A Z und M A′ Z′: so sind hierdurch auch die Winkel M A C und M A′ C des Vierecks M A C A′ bekannt. Da nun der Winkel A C A′, als Summe der geographischen Breiten der beiden Beobachter, ebenfalls bekannt ist, so ist durch die drei bekannten Winkel bei A, C und A′ auch der vierte Winkel A M A′ = 360° — (A + C + A′) bestimmt. Oder da < A M C = < Z A M — < A C M und < A′ M C = < Z′ A′ M — < A′ C M, folglich



$$< ACM + < A'MC = < ZAM + < Z'A'M - (< ACM + < A'CM)$$

ist, so ergiebt sich der Winkel am Gestirne gleich der Summe der beiden Zenithdistanzen weniger der Summe der beiden geographischen Breiten. Der bis jetzt gefundene Winkel A M A′ ist jedoch nicht die gesuchte Horizontalparallaxe, sondern die Höhenparallaxe. Da indeß durch die vier Winkel und die beiden, der Entfernung der Beobachtungsorte von dem Mittelpunkte der Erde gleichen, Seiten A C und A′ C das ganze Viereck A C A′ M bestimmt ist, so findet man hieraus C M, d. h. die Entfernung des Gestirnes von dem Mittelpunkte der Erde. Ist aber diese Entfernung gefunden, so kennt man auch die Horizontalparallaxe, da $\sin H = \frac{R}{E}$ ist, wo R den Halbmesser der Erde und E die Entfernung des Gestirnes bedeutet.

Sollten die beiden Beobachter nicht genau in demselben Meridiane sein — eine Bedingung, welche nicht leicht zu erfüllen ist — so wird es genügen, wenn ihre Meridiane, d. h. wenn ihre geographischen Längen nur eben nicht viel von einander verschieden sind. Dann werden nämlich die beiden beobachteten Zenithdistanzen nicht mehr gleichzeitig sein, was doch stattfinden muß, wenn die angegebene Methode überhaupt noch anwendbar sein soll. Allein man kann entweder aus den Mondtafeln oder auch aus den an den vorhergehenden und nachfolgenden Tagen beobachteten Mittagshöhen des Mondes leicht die kleine Höhen-

änderung desselben ableiten, die der kurzen Zwischenzeit jener beiden Culminationen entspricht, und dadurch die beobachteten Zenithdistanzen auf gleichzeitige oder auf solche bringen, die in demselben Augenblicke stattgehabt hätten. Je weniger die Meridiane der beiden Orte von einander verschieden sind, desto kleiner, desto sicherer wird also auch jene Reduction sein. Umgekehrt aber wird man, wie es für sich klar ist, die Distanz der Parallelkreise A und A', oder die Differenz der geographischen Breiten der Beobachter so groß als möglich nehmen, um die Parallaxe des Gestirnes mit der größtmöglichen Sicherheit zu bestimmen. Endlich wird diese Bestimmung im Allgemeinen desto genauer sein, je kleiner die Distanz CM des Gestirnes von dem Mittelpunkte der Erde, oder mit anderen Worten, je größer die gesuchte Horizontalparallaxe desselben ist, da für sehr weit entfernte Gestirne die Zenithdistanz ZAM dem Winkel ZCM sehr nahe gleich ist, so daß schon der geringste Fehler in diesen Zenithdistanzen, oder auch in den geographischen Breiten der Beobachtungsorte, den sehr kleinen Winkel AMA' sehr entstellen und endlich die ganze Methode unbrauchbar machen würde, wie dies z. B. bei der Sonne schon sehr nahe der Fall ist, da ihre Horizontalparallaxe nur 8,58 Secunden beträgt.

Für die der Erde sehr nahen Gestirne, wie z. B. für den Mond, wird man selbst diese Correspondenz eines zweiten Beobachters entbehren und die Parallaxe schon durch einen einzelnen Beobachter bestimmen können, ohne daß dieser genöthigt wäre, seine Stelle auf der Oberfläche der Erde zu verlassen. Wenn nämlich der Mond M (s. Figur S. 134) für den Beobachter in A aufgeht, so sieht er ihn bei dem Sterne a, während ihn ein Beobachter im Mittelpunkte C der Erde bei dem Sterne c sehen würde. Nun fallen 6 Stunden nach dem Aufgange des Mondes die Gesichtslinien der beiden Beobachter in A und C in CAZ zusammen, da dann der Mond durch das Zenith des Beobachters in A oder doch durch den Meridian desselben geht; der Beobachter in A wird also jetzt den Mond nahe bei dem Sterne c sehen, bei welchem ihn vor 6 Stunden der Beobachter in C gesehen hatte, und wird mithin — unter Berücksichtigung der Ortsveränderung des Mondes innerhalb dieser 6 Stunden — die Distanz des Sternes a von c bestimmen können. — Noch besser wird es sein, den Mond bei seinem Aufgange und bei seinem darauf folgenden Untergange zu beobachten, weil man auf diese Weise die doppelte Horizontalparallaxe erhält und kleinere Fehler der Beobachtung, die man nie ganz vermeiden kann, einen geringeren Einfluß auf das Resultat ausüben.

In der eben gegebenen Auseinandersetzung ist die Erde als eine vollständige Kugel vorausgesetzt; da dieselbe indessen ein Sphäroid ist, so geht die Ebene, in welcher die Gesichtslinien von dem Mittelpunkte der Erde und von dem Beobachtungsorte auf der Oberfläche nach dem Gestirne liegen, nicht durch das Zenith des Beobachtungsortes, sondern durch den Punkt, in welchem die Linie von dem Mittelpunkte der Erde nach dem Beobachtungsorte die scheinbare Himmelskugel trifft. Dies muß bei der Bestimmung der Parallaxe berücksichtigt werden, da hierdurch das Azimuth der Gestirne geändert wird. Hiernach macht es einen Unterschied, ob man von dem Aequator aus die Horizontalparallaxe bestimmt, oder in einer gewissen Breite. Die unter dem Aequator bestimmte, bei welcher mithin R den Halbmesser des Erdäquators bedeutet, nennt man Horizontal-Aequatoralparallaxe. Für den Mond ist überdies noch zu erwägen, daß

man nicht die Mitte desselben fixiren kann, sondern auf Beobachtung des Randes angewiesen ist. Zu der deshalb nöthigen Reduction ist die Kenntniß des Mondhalbmessers erforderlich, der aber selbst wieder durch die Parallaxe geändert wird. Wir können diese Correction hier nur andeuten, und verweisen daher auf ausführliche astronomische Werke, von denen wir hier das Lehrbuch der sphärischen Astronomie von Brünnow, Berlin 1851. S. 87 ff. und S. 370 ff. anführen. Aus demselben Werke entnehmen wir noch folgende Notizen.

Durch Beobachtungen auf beiden Seiten des Aequators wurden in den Jahren 1751 und 1752 die Parallaxe des Mondes und des Mars bestimmt. Zu dem Ende beobachtete Lacaille die Zenithdistanz der beiden Gestirne bei ihrer Culmination am Kap der guten Hoffnung, während gleichzeitig Cassini in Paris, Lalande in Berlin, Zanotti in Bologna und Bradley in Greenwich beobachteten. Diese Orte sind sehr günstig gelegen. Der größte Unterschied der Polhöhen ist der vom Kap und Berlin und beträgt $86\frac{1}{2}^0$, der größte Unterschied der Längen ist dagegen der vom Kap und Greenwich, der $1\frac{1}{4}$ Stunde beträgt, eine Zeit, für welche man die Bewegung des Mondes in Deklination vollkommen scharf in Rechnung bringen kann.

Die Beobachter fanden damals die Horizontalparallaxe des Mondes in seiner mittleren Entfernung von der Erde gleich 57′ 5″. Eine neue von Oluffen ausgeführte Berechnung aller dieser Beobachtungen ergab aber dafür den Werth 57′ 2″,64 unter der Voraussetzung, daß die Abplattung der Erde $\frac{1}{302,02}$ ist. Mit dem wahrscheinlichsten Werthe $\frac{1}{299,15}$ der Abplattung erhält man dagegen 57′ 2″,80 *). In neuester Zeit beobachtete auch Henderson in den Jahren 1832 und 1833 am Kap der guten Hoffnung Meridianzenithdistanzen des Mondes, aus denen er in Verbindung mit gleichzeitigen Greenwicher Beobachtungen die mittlere Horizontalparallaxe 57′ 1″;8 fand **). In den Burkhardt'schen Mondtafeln ist für diese Constante der Werth 57′ 0″,52 angenommen.

Aus Beobachtungen an einem und demselben Orte, wo dem Zenith nahe gelegene Beobachtungen mit solchen in der Nähe des Horizontes verbunden wurden, entdeckte Hipparch die Mondsparallaxe, indem er in der Bewegung des Mondes ein Glied auffand, welches von der Höhe desselben über dem Horizonte abhing und die Periode eines Tages hatte.

Im Jahre 1671 beobachteten Richer in Cayenne und Picard und Römer in Paris Meridianhöhen des Mars und fanden daraus die Horizontalparallaxe desselben gleich 25″,5. Hieraus berechneten sie — da man, wenn die Parallaxe oder die Entfernung eines Planeten bekannt ist, nach dem dritten Keppler'schen Gesetze, nach welchem die Cuben der halben großen Axen der Planetenbahnen sich wie die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten, die Entfernungen aller übrigen und auch die der Sonne finden kann — die wegen ihrer Kleinheit schwer zu bestimmende Parallaxe der Sonne zu 9″,5. Aus den Beobachtungen von Lacaille und Lalande ergab sich noch weniger genau 10″,25. Das geringste

*) Astron. Nachrichten Nr. 326.
**) Astron. Nachrichten Nr. 338.

Mittel für die Bestimmung der Sonnenparallaxe gewähren die Beobachtungen der Vorübergänge der Venus vor der Sonnenscheibe, welche zuerst von Halley zu diesem Zwecke vorgeschlagen wurden *). Aus den bei den Vorübergängen der Venus in den Jahren 1761 und 1769 angestellten Beobachtungen fand Encke die Sonnenparallaxe gleich 8″,5776, ein Werth, den derselbe später nach Auffindung des Originalmanuscripts von Hell's Beobachtungen des Venusdurchganges von 1769 in Wardoe im nördlichen Lappland in 8″,57116 änderte. Die Entfernung der Sonne von der Erde ergiebt sich hieraus gleich 20682329 geographische Meilen, von denen 15 auf einen Grad des Aequators gehen.

Nachdem so die Horizontalparallaxe der Sonne gefunden ist, ergiebt sich dieselbe für jedes andere Gestirn, dessen Entfernung vom Mittelpunkte der Erde in Einheiten der halben großen Axe der Erdbahn ausgedrückt $\triangle$ ist, durch die Gleichung:

$$\sin p = \frac{8'',57116}{\triangle}.$$

Kennt man einmal die Entfernung eines Gestirnes von der Erde, so darf man sie nur mit der Tangente des scheinbaren Halbmessers desselben multipliciren, um sofort auch den wahren Halbmesser des Gestirnes zu erhalten. Der scheinbare Halbmesser aber ist die Hälfte des Winkels, z. B. in Secunden ausgedrückt, unter welchem uns der Durchmesser des Gestirns erscheint, während der wahre Halbmesser desselben den Abstand des Mittelpunktes des Gestirnes, z. B. in Meilen ausgedrückt, von jedem anderen Punkte seiner sphärischen Oberfläche bezeichnet. Kennt man aber den wahren Halbmesser einer Kugel, so findet man daraus auch die Oberfläche und den körperlichen Inhalt derselben, jenen in Quadrat- und diesen in Kubikmeilen. Da die Entfernung des Gestirnes von der Erde oben gleich $\frac{R}{\sin H}$ angegeben wurde, so kann man auch den wahren Halbmesser eines Gestirnes finden, wenn man den Halbmesser der Erde = 859,3 Meilen mit dem scheinbaren Halbmesser des Gestirnes multiplicirt und durch die Horizontalparallaxe desselben dividirt, indem man statt sin H bei der Kleinheit des Winkels H selbst nehmen kann. So hat man für die Sonne den scheinbaren Halbmesser 961″ und nimmt man dazu die Horizontalparallaxe 8″,58, so findet man den wahren Halbmesser der Sonne 96246 Meilen oder nahe 112 Mal größer als den Halbmesser der Erde. Da sich nun die Oberflächen der Kugeln wie die Quadrate und die körperlichen Inhalte derselben wie die Cuben ihrer Halbmesser verhalten, so folgt, daß die Oberfläche der Sonne 12544 Mal größer ist, als die der Erde, und daß das Volumen der Sonne 1404928 Mal größer ist als das der Erde, oder daß man aus der Sonne gegen $1\frac{1}{2}$ Million solcher Kugeln, wie unsere Erde ist, bilden könne. Wendet man dieselben Berechnungen auf die Venus an, deren scheinbarer Halbmesser in ihrer größten Nähe 32″,8 und in ihrer größten Entfernung 4″,8 ist, so findet man für den wahren Halbmesser derselben 815 Meilen, also nicht viel kleiner, als bei unserer Erde.

Je weiter ein Stern von der Erde entfernt ist, desto kleiner wird seine Parallaxe. Mit Hülfe unserer besten Instrumente können wir nun noch einen

*) Vergl. Encke im astronomischen Jahrbuche für 1842.

scheinbaren Winkel von 1 Sec. messen. Sobald der scheinbare Durchmesser eines Gestirnes und sobald die Parallaxe desselben kleiner als 1 Sec. wird, sind wir daher außer Stande, Größe und Entfernung der Gestirne zu berechnen. Dies ist bei allen Fixsternen wegen ihres gewaltigen Abstandes der Fall. Man muß daher, um bei ihnen zu einem Resultate zu gelangen, zu indirecten Mitteln seine Zuflucht nehmen, wie es auch schon bei dem Uranus nöthig ist, dessen Parallaxe nicht mehr als 0,47 Sec. beträgt. Wie man die Parallaxe des Uranus namentlich durch die Sonnenparallaxe findet, ist oben bereits angegeben.

Da man für die Fixsterne auch von den entferntesten Punkten auf der Erdoberfläche keine Parallaxe finden konnte, so suchte man eine größere Entfernung der beiden Beobachtungsorte dadurch zu gewinnen, daß man auf die Orte der Erde in ihrer Bahn zu verschiedenen Zeiten zurückging, die von Halbjahr zu Halbjahr um ungefähr 40 Millionen Meilen auseinander liegen. Dies führt uns zu der jährlichen Parallaxe.

B) Jährliche Parallaxe, der Winkel, welchen die Richtungen von den Mittelpunkten der Sonne und der Erde nach den Fixsternen mit einander bilden. Betrachten wir bei der ersten oben gebrauchten Figur AB als die Erdbahn, C als die Sonne, M als ein Gestirn, so erscheint das letztere von A aus bei a, während es von C aus gesehen, bei c erblickt werden würde. Der Winkel AMC heißt die jährliche Parallaxe. Daß diese größer sein muß, als die tägliche, ist aus dem Vorhergehenden klar, da bei dieser die Stationen A und C nur um 859 Meilen, bei jener um etwa 20 Millionen Meilen weit von einander entfernt sind.

Die jährliche Parallaxe eines Gestirnes wird nun auf ähnliche Weise gefunden, wie die tägliche, nur daß man, wie bereits bemerkt, die verschiedenen Standpunkte der Erde auf ihrer Bahn zu den verschiedenen Stationen nehmen muß. Die jährliche Parallaxe der Planeten ist bedeutend und beträgt für den Uranus schon 3 Grade. Bei den Fixsternen hingegen hat man, obgleich man sich der besten Instrumente bediente, keine jährliche Parallaxe entdecken können, ein Beweis, daß dieselben so ungeheuer weit von unserem Sonnensysteme entfernt sind, daß auch die Größe des Erdbahndurchmessers, d. h. eine Länge von etwa 41 Millionen Meilen, gegen diese Entfernung noch eine verschwindend kleine Größe ist, d. h. von dem Fixsterne aus gesehen noch nicht unter einem Winkel von 1 Sec. erscheinen würde. Da wir eine Parallaxe von 1 Sec. noch wahrnehmen können, so muß auch der uns am nächsten stehende Fixstern eine noch kleinere Parallaxe haben, als die angegebene. Hieraus hat man geschlossen, daß der nächste Fixstern noch über 4261000 Millionen Meilen entfernt sein müsse; oder vielmehr, da wir von den diametral entgegenstehenden Punkten der Erdbahn die doppelte Parallaxe wahrnehmen können, daß der nächste Fixstern mehr als 8 Billionen Meilen abstehen muß. Die Astronomen haben sich lange vergeblich bemüht, eine Parallaxe der Fixsterne, zu entdecken; zwar fanden sie nicht, was sie suchten, dafür führten die Beobachtungen zu der eben so wichtigen und interessanten Entdeckung der Abirrung des Lichtes (Art. Abirrung des Lichtes, Bd. I. S. 3). Indessen, obgleich directe Beobachtungen nicht zum Ziele führten, gelang es endlich doch auf indirecten Wegen, worüber das Nähere in Art. Fixsterne, Bd. III. S. 233 ff. noch zu sehen ist, bei mehreren Fixsternen eine Parallaxe aufzufinden, von denen α Centauri noch die größte Parallaxe zeigt,

nämlich 0″,913, der hellleuchtende Sirius aber erst mit seiner Parallaxe 0″,230 die dritte Stelle einnimmt.

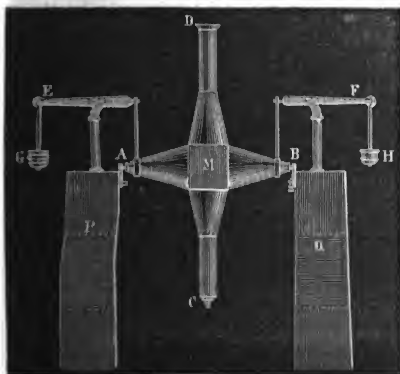
Wegen den früheren Bemühungen der Astronomen, die jährliche Parallaxe der Fixsterne zu ermitteln, vergl. namentlich Astronom. Nachrichten von Schumacher Nr. 366. H. E.

Parallelkreise heißen auf der Erdkugel und an der scheinbaren Himmelskugel gezogene Kreise, die sämmtlich parallel dem Aequator sind. Die Parallelkreise an der Himmelskugel sind daher diejenigen, welche die verschiedenen Sterne bei ihrer scheinbaren täglichen Bewegung um die Erde beschreiben. Jeder Parallelkreis auf der Erde geht durch sämmtliche Orte, welche gleichweit vom Aequator abstehen. Daher haben auch alle unter demselben Parallelkreise liegenden Orte der Erde dieselbe geographische Breite. Die Parallelkreise werden wie alle Kreise gewöhnlich in 360 Grade eingetheilt. Da sie um so kleiner werden, je weiter sie vom Aequator abstehen, so müssen demgemäß auch die Grade der verschiedenen Parallelkreise von ungleicher Länge sein. Vergl. Art. Erde.

Parallelogramm der Kräfte, s. Bewegung und Mechanik.

Paß, s. Berg.

Passageninstrument, Durchgangsinstrument, Mittagsfernrohr, Mittagsrohr, heißt ein Fernrohr, welches so aufgestellt ist, daß man es in der Ebene des Meridians auf und ab bewegen kann, und welches daher dient, den Durchgang irgend eines Sternes durch den Meridian des Beobachtungsortes, d. h. die Culminationszeit desselben zu beobachten. Olaus Römer hat zuerst 1689 ein Fernrohr in dieser Weise aufgestellt *). Die Art der Aufstellung ergiebt sich aus folgender Abbildung. Eine horizontale Axe AB (s. beistehende Figur) von Metall liegt mit ihren beiden äußersten cylindrischen Enden A und B, um welche sich diese Axe drehen läßt, in soliden Pfeilern P und Q von Stein, und durch die Mitte M dieser Drehungsaxe geht das Fernrohr CD in einer auf die Axe senkrechten Stellung. Die beiden Hälften der Axe sind bei M an das Rohr außen angeschraubt. Wird die Axe AB genau in die Richtung von Osten nach Westen gelegt und in horizontale Lage gebracht, so geht das Fernrohr, wenn dasselbe um die Axe AB gedreht wird, in der Ebene des Meridians auf und nieder, so daß man also nur die Durchgänge



*) Miscellanea Berol. 1700. Vol. III.

der Sterne, mögen sie hoch oder niedrig stehen, durch dies Fernrohr nach einer Uhr zu beobachten braucht, um sofort die Culminationszeit zu erhalten *).

So einfach die Idee des Passageninstrumentes auch ist, hat die Aufstellung dennoch mannichfache Schwierigkeiten, wenn die mit demselben gewonnenen Resultate auf Genauigkeit Anspruch machen sollen. Eine Hauptsache ist, daß das Instrument unveränderlich fest steht. Deshalb sind die Pfeiler, welche die Are tragen, nicht blos massiv von Steinen, aus großen Granitblöcken, zu errichten, sondern auch für sich zu fundamentiren, und dürfen mit den übrigen Theilen des Gebäudes in keiner Verbindung stehen, um nicht etwa durch Erschütterungen desselben ebenfalls eine Erschütterung zu erleiden. An dem Passageninstrumente der Seeberger Sternwarte besteht jeder Pfeiler aus einem einzigen Porphyrstücke und jeder steht, ohne mit dem Gebäude in Verbindung zu treten, unmittelbar auf dem Kalkgebirge; gleichwohl machte sich hier eine Niveauveränderung bei Temperaturveränderungen geltend, indem sich das östliche Zapfenlager bei fallender Temperatur senkte, bei steigender hob.

Das Fernrohr darf nicht zu groß sein, damit es sich nicht durch sein eigenes Gewicht biege. Ein Objectivglas von 8 Fuß Brennweite ist eigentlich schon zu groß; man sollte nicht über 6 Fuß hinausgehen. Bei den größeren und schwereren Passageninstrumenten würde an den Zapfen und ihren Unterlagen wegen des bedeutenden Druckes der Last eine verhältnißmäßig starke Reibung und in Folge davon Abnutzung der Zapfen und Lager eintreten. Um dies zu vermindern, bringt man auf den Pfeilern die Hebel E und F (s. vorstehende Figur) an, welche an den Enden A und B der Are in Ringe mit Zugstangen eingreifen und bei G und H durch aufgelegte Gewichte so beschwert sind, daß das Fernrohr beinahe im Gleichgewichte gehalten, also auf die Unterlagen bei A und B nur noch ein schwacher Druck ausgeübt wird.

Zu der Rectification des Fernrohres gehört zunächst die horizontale Richtung der Are. Deshalb ist das eine Zapfenlager, in unserer Figur das bei B, mittelst einer Schraube in verticaler Richtung in der Weise, wie dies bei einem Schraubenmikrometer (s. Art. Mikroskop, Bd. IV. S. 1062) geschieht, verschiebbar. Hängt man nun eine rectificirte Libelle (s. Art. Libelle, Bd. IV. S. 465) mittelst ihrer beiden Haken an die Zapfen der Rotationsaxe, liest die Endpunkte der Luftblase ab, kehrt dann die Libelle um, so daß das rechte Ende links und das linke Ende rechts zu liegen kommt, und liest die Endpunkte der Blase wieder ab, so wird sich durch die unveränderte oder veränderte Stellung der Blase zeigen, ob die Are horizontal ist oder nicht. Hat die Blase eine andere Lage nach dem Umlegen der Libelle erhalten, so schraubt man das Zapfenlager aufwärts oder abwärts, und überzeugt sich durch wiederholtes Umlegen der Libelle schließlich davon, daß die Are möglichst genau horizontal liegt. Eine praktische Regel ist hierbei zu beobachten, nämlich immer auf derselben Seite der Are stehen zu bleiben. Auch thut man gut, die Libelle selbst als nicht rectificirt anzunehmen,

*) Eine Abbildung des großen Repsold'schen Passageninstrumentes, welches sich auf der Sternwarte zu Pulkowa befindet, ist in Schumacher's astron. Nachr. Bd. XX. Nr. 468, 469 und 472. Von den im Art. Apparat, Bd. I. S. 234 aufgeführten Instrumenten des optischen Instituts von Merz sind Nr. 8, 9 und 13 zu Passageninstrumenten verwendet worden. Vergl. auch Bd. I. S. 239 die Instrumente von Meyerstein Nr. 2 bis 5; Bd. I. S. 265 die Instrumente von Ertel Nr. 7 bis 11 und 13 bis 15.

und wenn bei dem ersten Anhängen derselben die Endpunkte der Luftblase rechts r und links l Theile abstanden, nach dem Umhängen aber r' und l' Theile zeigten, so lange zu schrauben, bis die Luftblase rechts auf $^1/_2$ (r' + l) und links auf $^1/_2$ (r + l') Theilen steht.

Der zweite Theil der Rectification betrifft die genaue Richtung der Axe von Osten nach Westen; denn da das Fernrohr als genau senkrecht zur Axe stehend angenommen ist, wird dasselbe zwar bei einer Drehung einen Verticalkreis beschreiben, aber noch nicht nothwendig in der Ebene des Meridians liegen, wie es doch von diesem Instrumente gefordert wird. Die Pfeiler werden zwar so gestellt, daß das Fernrohr dem Meridiane schon ziemlich nahe steht, wozu man sich der Culmination der Sonne oder irgend eines Gestirnes bedienen kann; allein es handelt sich hier um eine ganz genaue Stellung des Fernrohres. Um dies zu erreichen, stellt man zunächst das in dem Fernrohre angebrachte Fadenmikrometer (s. Art. Mikrometer, Bd. IV. S. 1032) so, daß der eine Faden genau horizontal, die anderen vertical gerichtet sind. Hierbei sind selbst erst noch manche wesentliche Punkte zu berücksichtigen, z. B. daß die Ebene der Fäden durch den Brennpunkt des Fernrohres gehe, daß das Fadennetz deutlich erscheine. Wie man hiervon die Ueberzeugung gewinnt, ist im Art. Nivelliren näher erläutert, weshalb wir hier darauf Bezug nehmen. Um nun zu prüfen, ob die vertical sein sollenden Fäden wirklich vertical sind, hänge man vor dem Objective ein Loth auf, welches mit seinem Gewichte in eine Flüssigkeit hängt, um demselben mehr Ruhe zu verschaffen und die Schwankungen möglichst zu vermeiden. Mit diesem Lothe müssen die Fäden parallel laufen; sollte dies jedoch nicht der Fall sein, so dreht man das Mikrometer mittelst der zu diesem Zwecke angebrachten Schraube, bis die Parallelität erreicht ist. Will man sich überdies davon Ueberzeugung verschaffen, ob der horizontale Faden auch wirklich horizontal ist, so richtet man das Fernrohr auf einen Fixstern, welcher möglichst nahe am Aequator steht, und sieht zu, ob derselbe zur Zeit der Culmination beim Durchgange durch das Gesichtsfeld auf dem Faden bleibt. Stehen die Fäden genau senkrecht auf einander, so ist damit, daß der letztere Faden horizontal gestellt ist, zugleich den anderen Fäden die verticale Richtung gegeben, so daß man den Versuch mit dem Lothe gar nicht nöthig haben würde. Von den in ungerader Zahl angebrachten Fäden soll der mittelste durch die Axe des Fernrohres gehen, in ihm also der Brennpunkt liegen. Deshalb richtet man das Fernrohr auf einen terrestrischen Gegenstand und merkt den Punkt, durch welchen der mittelste Faden geht; hierauf legt man das Instrument um, indem man es aus seinen Lagern heraushebt und in verkehrter Lage, d. h. den Zapfen B im Lager A, wieder einlegt. Durchschneidet dann der verticale Faden in dieser Lage wieder denselben Punkt des gewählten Gegenstandes, so steht die Linie von dem Mittelpunkte des Objectivs des Fernrohrs nach dem Fadenkreuze, d. h. die Gesichtslinie genau senkrecht auf der Umdrehungsaxe des Instrumentes. Schneidet aber der Faden einen anderen Punkt, so verschiebe man das Fadenkreuz durch Schrauben, welche dasselbe senkrecht gegen die Gesichtslinie bewegen, so lange, bis der verticale Faden durch den zwischen den beiden Punkten in der Mitte liegenden Punkt des Objects geht. Sollte dennoch der Faden noch nicht die richtige Lage haben, so wiederholt man das angegebene Verfahren, bis der Zweck erreicht ist. — Nach diesen Vorarbeiten geht man daran, die Axe genau von Osten nach Westen, oder den mittleren ver-

ticalen Faden, die sogenannte Collimationslinie, genau in die Ebene des Meridians zu bringen. Man bedient sich hierzu eines Circumpolarsternes, d. h. eines nahe bei dem Polarsterne stehenden Sternes (s. Bd. I. S. 977), indem man diesen in seiner oberen sowohl, als auch in seiner unteren Culmination an dem Mittagsrohre dreimal hinter einander beobachtet. Befindet sich nämlich die Collimationslinie genau in der Ebene des Meridians, so muß die Zeit zwischen einer oberen und der nächstfolgenden unteren Culmination genau gleich der Zeit sein, welche zwischen dieser unteren und der nächstfolgenden oberen Culmination verfließt. Geschieht dies nicht, so weicht der Verticalkreis, welchen der mittlere verticale Faden bei der Drehung des Instrumentes beschreibt, nach derjenigen Seite des Meridians ab, auf welcher der Stern die längere Zeit gewesen ist. Um nun die Axe zu verschieben und das Instrument richtig einzustellen, dazu dient die Vorrichtung an der zweiten Zapfenunterlage — in unserer Figur bei A —, durch welche mittelst einer Mikrometerschraube dies Lager horizontal bewegt werden kann. — Beobachtet man nicht drei aufeinanderfolgende Culminationen, sondern nur zwei, so bestimme man den Zeitunterschied und subtrahire von diesem 12 Stunden. Es culminire z. B. der Polarstern um $0^h\ 58'\ 20''$ oben, und $12^h\ 58'\ 50''$ unten, so ist der Zeitunterschied $12^h\ 0'\ 30''$, also der gesuchte Unterschied 30''. Die Hälfte hiervon, also 15'' dividire man durch den Cosinus der Polhöhe des Beobachtungsortes und durch die Tangente der Deklination des Sternes; so erhält man die Abweichung der Collimationslinie von dem Meridiane. Da die Deklination des Polarsternes nahe $88^0\ 10'$ beträgt und die Polhöhe z. B. für Wien $48^0\ 12',6$ ist, so beträgt für ein Rohr, welches in Wien diese Resultate gegeben hatte, das Azimuth 0,711 Zeitsecunden und zwar gegen Osten, da jene Differenz positiv ist. Man wird daher in diesem Falle die Axe AB des Fernrohres um 0,721 Zeitsecunden westlicher stellen, um die Collimationslinie in die Ebene des Meridians zu bringen. Die Beobachtungen der nächstfolgenden Tage werden zeigen, ob das Instrument ganz genau eingestellt ist, oder nicht. Die beiden Culminationen müssen genau um 12 Stunden Sternzeit auseinander liegen.

Da es schwer ist, die drei Fehler, nämlich die Ungenauigkeit in der Horizontalität der Drehungsaxe, in dem Azimuthe des Fernrohrs und in der senkrechten Stellung der Colliminationslinie auf die Drehungsaxe, durch blos mechanische Mittel, wie Schrauben, Libellen und dergleichen völlig fortzubringen, sich überdies diese Fehler auch häufig durch äußere Einwirkungen auf das Instrument ändern; so zieht man es vor, diese Fehler durch jene Mittel überhaupt nur so klein als möglich zu machen und dann den Rest derselben oder vielmehr die Folgen dieser Reste auf die künftigen Beobachtungen in Rechnung zu bringen. Hierdurch ist man im Stande, die größte Genauigkeit zu erreichen.

Es kommen zu diesen Fehlern indessen noch andere hinzu, die in den Schwierigkeiten bei der Anfertigung eines solchen Instrumentes ihren Grund haben. Die Endpunkte der Drehungsaxe bei A und B sollten genaue Cylinder mit kreisförmiger Basis sein. Der geschickteste Künstler kann jedoch hierfür nicht einstehen, und wäre nun der Querschnitt dieser Zapfen nicht völlig kreisrund, sondern mehr oder weniger elliptisch, so würden hieraus Fehler hervorgehen, welche nicht unbeachtet bleiben dürfen. — Da das Fernrohr bei seinen verschiedenen Stellungen gegen den Horizont in seinen beiden Hälften bald größere, bald

kleinere Momente erhält, so resultirt hieraus, wenn das Rohr nicht besonders fest gebaut ist, eine Verschiedenheit in der Axe des Rohres. — Ferner ist auch der Einfluß der Temperatur in den verschiedenen Theilen des Instrumentes zu berücksichtigen. Man bringt deshalb eigene Beschirmungen an, welche namentlich bei den Sonnenbeobachtungen nicht nur das Instrument, sondern auch die beiden Pfeiler in Schatten stellen, so daß nur das Objectiv des Fernrohres den Sonnenstrahlen ausgesetzt ist. Selbst der Ring im Fernrohre, welcher die Fäden trägt, ist durch einen besonderen Schirm im Innern des Rohres zu schützen, da die Stellung der Fäden verschieden ausfällt, je nachdem der westliche — zu Anfange der Beobachtung — oder der östliche Rand — zu Ende der Beobachtung — von den Sonnenstrahlen getroffen wird.

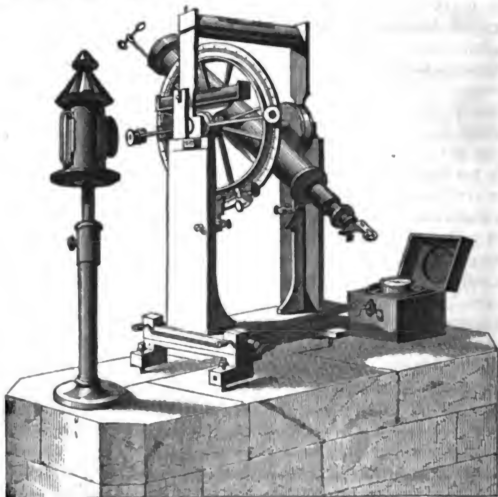
Noch ist zu bemerken, daß man für die Passageninstrumente, so wie überhaupt für alle im Meridiane aufgestellten Instrumente, in angemessenen Entfernungen, von z. B. einer Viertelmeile und weiter, im Norden und Süden ein **Meridianzeichen** aufzustellen pflegt. Es besteht dies Meridianzeichen gewöhnlich aus einem steinernen Pfeiler oder Obelisken, der auf der Seite, welche dem Instrumente zugewendet ist, meistens mit zwei verticalen schwarzen Strichen bezeichnet wird, so daß man dieselben durch das Fernrohr deutlich sehen kann. Bisweilen bringt man unter diesen Strichen noch eine Nische an, um des Nachts daselbst eine Beleuchtung anbringen zu können, die wohl gar selbst als Marke dient. Dergleichen Meridianzeichen thun insofern besonders gute Dienste, als es mit ihrer Hülfe leicht ist, das Fernrohr wieder in den Meridian zu bringen, falls es durch irgend einen Zufall aus demselben entfernt worden ist. — Statt des Meridianzeichens bedient man sich wohl auch eines zweiten Fernrohres, welches dem Fernrohre des Passageninstrumentes gegenüber während der Beobachtung in unveränderlich fester Stellung so aufgestellt wird, daß die Axen beider Instrumente parallel sind. Befindet sich dann in dem Brennpunkte dieses Fernrohres ein System von verticalen Fäden, deren Abstand in Secunden man kennt, so kann man den Collimationsfehler dadurch finden, daß man die Stelle beobachtet, in welcher der Mittelfaden den durch die verticalen Fäden des anderen Fernrohres gehenden horizontalen Faden schneidet.

Wir wollen nun noch einer Methode Erwähnung thun, deren man sich zur Ermittelung des Collimationsfehlers bedient. Man stellt unter dem verticalgestellten Fernrohre, mit nach unten gerichtetem Objective, einen Quecksilberhorizont auf. Steht nun das Rohr senkrecht mit seiner optischen Axe auf der Umdrehungsaxe und ist diese selbst horizontal, so wird das von dem Fadenkreuze ausgehende Licht nach dem Durchgange durch das Objectiv parallel und senkrecht auf den Spiegel fallen, von diesem parallel zurückgeworfen werden und in Folge der Brechung im Objective sich wieder in demselben Punkte vereinigen, von dem es ausgegangen ist. Steht nun die optische Axe nicht senkrecht auf der Umdrehungsaxe, so fällt das Spiegelbild nicht mit dem Fadenkreuze zusammen, sondern wird sich in einer Entfernung von demselben befinden, welche gleich dem doppelten Collimationsfehler ist. Mittelst der Schrauben, welche das Fadenkreuz senkrecht gegen die optische Axe bewegen, kann man dann das Spiegelbild mit dem Fadenkreuze zum Zusammenfallen, also den Collimationsfehler auf Null bringen. Will man das Fadenkreuz nicht bewegen, so kann man statt dessen auch die Umdrehungsaxe durch die Schrauben verschieben, welche dieser eine

verticale Bewegung geben. Nivellirt man dann die Axe, so ist die gefundene Erhöhung oder Erniedrigung gleich dem Collimationsfehler des Instrumentes. Hatte z. B. die Axe schon eine Neigung gleich b und erhält sie nun eine solche gleich b', so ist b' — b oder b — b' der Collimationsfehler.

Nicht nur um bei diesem Versuche das Spiegelbild des Fadenkreuzes zu sehen, sondern überhaupt um das Fadenkreuz für nächtliche Beobachtungen zu beleuchten, bringt man im Innern des Rohres einen um 45° gegen die Axe desselben geneigten ebenen Spiegel an, welcher durch eine ihm gegenüberstehende Oeffnung in der Seite des Rohres beleuchtet wird.

Soll das Passageninstrument nicht blos zur Bestimmung der Rectascensionen, sondern auch der Deklinationen dienen, so ist noch ein verticaler Kreis, sogenannter Meridiankreis, erforderlich, an welchem man die Richtung des Rohres ablesen kann. Außerdem bedient man sich auch tragbarer Passageninstrumente, wie ein solches die beigefügte Zeichnung zur Anschauung bringt. Es ist dies die perspectivische Ansicht eines mit einem Meridiankreise verbundenen Mittagsfernrohres, wie es Herr Brunner nach Laugier's Angabe verfertigt hat. Rechts erblickt man ein Chronometer, welches bei der Beobachtung der Durchgänge die Stelle einer Sternuhr vertreten kann; linker Hand befindet sich die bei Nacht zur Beleuchtung der Fäden des Netzes und der Theilpunkte des Meridiankreises nothwendige Lampe *).



*) Arago's sämmtliche Werke, deutsch von Hankel, Bd. XI. oder: Populäre Astronomie, Bd. I. S. 227.

Zur Beobachtung der Sterndurchgänge ist eine genaue Uhr ein wesentliches Erforderniß. Das Mittagsrohr dient nun zunächst dazu, um den Gang derselben zu berichtigen. Man pflegt auf den Sternwarten die Uhren nach Sternzeit (s. Art. Zeit) gehen zu lassen, so daß sie zwischen zwei nächsten Mittagen oder zwei nächsten Culminationen der Sonne — die unter den Fixsternen fortzurücken scheint — nicht 24 Stunden, sondern nahe 24 St. 3 Min. 56 Sec. geben. Dabei wird ein gleichförmiger Gang der Uhren vorausgesetzt, d. h. daß sie im Laufe mehrerer Tage gegen die richtige Sternzeit täglich oder stündlich um dieselbe Größe zu- oder abnehmen. Um nun für jeden Augenblick diese Abweichung der Uhr von der wahren Sternzeit zu finden, wird man das Mittagsrohr nahe auf die mittägige Höhe eines Fixsternes stellen, dessen Rectascension für diesen Augenblick man genau kennt. Man nimmt hierzu die sogenannten Hauptsterne, deren Rectascensionen und Deklinationen auf das Genauste bekannt sind, und deren scheinbare Oerter in den astronomischen Jahrbüchern von 10 zu 10 Tagen angegeben werden. Es sei dieser Stern Aldebaran oder α im Stier, dessen Rectascension $4^h\ 26'\ 25'',3$ sein soll. Da der Gang der Uhr, etwa bis auf eine Minute, schon aus früheren Beobachtungen bekannt ist, so wird man einige Minuten, ehe die Uhr 4 St. 26 Min. zeigt, an das Instrument gehen, um dasselbe auf den gewählten Fixstern zu stellen, und dann abwarten, bis der Stern in das Feld des Fernrohrs tritt. Gesetzt, dasselbe sei mit 3 verticalen Fäden versehen, die in gleichen Abständen von einander stehen, und man habe die Uhrzeiten des Durchganges des Sternes durch die Fäden in folgender Weise gefunden:

durch den ersten Faden Uhrzeit	4	St.	26	Min.	54,2	Sec.
= = zweiten = =	4	=	27	=	39,3	=
= = dritten = =	4	=	28	=	23,8	=

so erhält man als Mittel aus diesen drei Zeiten 4 St. 27 Min. 39,1 Sec. für die Uhrzeit desjenigen Augenblicks, in welchem der Stern durch den Meridian ging. Die wahre Sternzeit dieses Augenblicks ist aber, wie oben angegeben wurde, 4 St. 26 Min. 25,3 Sec.; folglich geht die Uhr, da die Differenz 1 Min. 13,8 Sec. beträgt, um die Zeit, wo sie 4 St. 28 Min. zeigte, um 1 Min. 13,8 Sec. gegen Sternzeit voraus. Eben so wird man etwa an demselben Tage durch eine andere Beobachtung, z. B. von Wega oder α der Leier, deren Rectascension 18 St. 31 Min. 19,2 Sec. ist, finden, daß die Uhr um diese Zeit um 1 Min. 14,2 Sec. gegen Sternzeit voraus ist. Hieraus folgt, daß sie in 14 St. 5 Min. Uhrzeit um 0,4 Secunden gegen Sternzeit vorausgeht, so daß sie also, wenn man ihren Gang gleichförmig annimmt, in jeder Stunde um 0,028 Sec. gegen Sternzeit voraus eilt, also um so viel zu schnell geht. Aus mehreren solchen Beobachtungen wird man das Mittel nehmen und so den Stand und Gang der Uhr gegen die wahre Sternzeit mit aller nur wünschenswerthen Schärfe bestimmen können.

Das Mittagsrohr dient ferner die Rectascensionen solcher Gestirne, deren Ort am Himmel man noch nicht kennt, zu bestimmen. Man stellt kurz vor der Culmination eines solchen Gestirnes das Fernrohr auf dasselbe und beobachtet die Uhrzeiten der Durchgänge desselben durch die drei Fäden. Gesetzt, man habe an obigem Tage von irgend einem Kometen beobachtet:

am ersten Faden die Uhrzeit	10	St.	43	Min.	16,2	Sec.
„ zweiten „ „ „	10	„	44	„	20,4	„
„ dritten „ „ „	10	„	45	„	24,3	„

so erhält man in dem Mittel dieser drei Beobachtungen, 10 St. 44 M. 20,3 Sec., die Uhrzeit der Culmination des Kometen. Da nun um 4 St. 27 Min. die Uhrzeit bereits um 1 Min. 13,8 Sec. gegen Sternzeit vorausging und in jeder Stunde um 0,028 Sec. accelerirte, so ging die Uhr zur Zeit der Beobachtung um 1 Min. 13,98 Sec. gegen Sternzeit voraus, oder der Komet culminirte, gemäß der Beobachtung und mit Berücksichtigung des Fehlers im Gange der Uhr, um 10 St. 43 Min. 6,32 Sec. Dies ist mithin die gesuchte Rectascension des Kometen.

Ein tieferes Eingehen in den Gebrauch des Passageninstrumentes ist hier nicht an der Stelle, wir müssen deshalb auf specielle astronomische Werke verweisen und machen dazu besonders namhaft: Lehrbuch der sphärischen Astronomie von Dr. F. Brünnow. Berlin 1851, namentlich Abschnitt 6. IV.

Da es bei den Zeitbestimmungen auf die größte Genauigkeit ankommt, ein Fehler von 1 Zeitsecunde aber 15 Bogensecunden entspricht, so hat man in neuerer Zeit diesen Zeitbestimmungen, die durch das aus mehreren parallelen Fäden bestehende Fadenkreuz allerdings schon größere Zuverlässigkeit gewähren, noch größere Präcision durch Benutzung galvanisch registrirender Uhren zu ertheilen gesucht. Die von dem Amerikaner Locke zuerst ausgeführte Methode besteht im Wesentlichen darin, daß mit jedem Pendelschlage eine galvanische Kette geschlossen wird, welche dann, wie bei dem Morse'schen Schreibtelegraphen, auf einem mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegten Papierstreifen mittelst eines Stiftes einen Eindruck hervorbringt. Ein zweiter Stift kann jedoch durch das Schließen einer andern Kette ebenfalls auf demselben Papierstreifen Zeichen eindrücken, und schließt nun der beobachtende Astronom in dem Augenblicke, welchen er bestimmt haben will, durch einen Drücker in seiner unmittelbaren Nähe diese zweite Kette, so erhält man auf dem Papierstreifen nicht nur die Secundenpunkte, sondern neben ihnen auch noch Punkte, welche man Beobachtungspunkte nennen kann. Aus der Lage des Beobachtungspunktes zu den Secundenpunkten kann man somit bestimmen, welcher Bruchtheil der eben begonnenen Secunde auf den Moment der Beobachtung kommt. Die Uhr braucht bei dieser Einrichtung gar nicht in der Nähe des Beobachters zu stehen, wenn nur von dem Beobachter eine Drahtleitung zu derselben oder zu dem Schreibapparate geht; man kann sogar die Telegraphenleitungen, welche weit entfernte Orte verbinden, benutzen und somit den Durchgang derselben Sterne durch den Meridian dieser Orte beobachten, und die Durchgangszeit des einen Ortes an dem anderen Orte registriren. Zur Bestimmung der Meridiandifferenzen (s. Art. Meridian, Bd. IV. S. 1019. Nr. 4) leistet diese Methode ganz vorzügliche Dienste. H. E.

Passate, s. Winde.

Passivität der Metalle. Im Artikel Galvanismus, Bd. III. S. 357 ist auf einen eigenthümlichen Zustand chemischer Indifferenz, in den verschiedene Metalle unter gewissen Umständen gerathen können, hingewiesen worden. Metalle in diesem Zustande nennt man, nach dem Vorgange Schönbein's, passiv, und faßt die ganze Gruppe hierher gehöriger Erscheinungen unter dem

Ausdrucke Passivität zusammen. Diese Erscheinungen wurden zuerst am Eisen in auffallender Weise wahrgenommen.

Die ersten hierauf bezüglichen Beobachtungen wurden wohl von Keir *) gemacht, die 37 Jahre später auch Wetzlar **) wahrnahm, ohne daß dieser etwas von den Arbeiten des Ersteren wußte. Wetzlar fand unter Anderem, daß stählerne Strickstücke, wenn man sie an einem Ende in eine salpetersaure Silberlösung eintaucht und dann sogleich mit Leder stark abreibt, an diesem Ende in einer salpetersauren Kupferlösung nicht mit Kupfer überzogen werden, an dem anderen Ende dagegen um so stärker. Auch Herschel ***) machte frühzeitig einige auf diesen Gegenstand bezügliche Beobachtungen. Und folgende Beobachtungen Fechner's ****) gehören gleichfalls zu den früheren Wahrnehmungen dieses Gegenstandes. Wenn man einen Eisen- und Silberdraht, die beide mit den Enden eines Galvanometers verbunden sind, in eine salpetersaure Silberlösung bringt, so wird der Eisendraht, je nach der Concentration der Lösung, negativ oder positiv elektrisch, und zwar negativ bei stärkerer, positiv bei schwächerer Concentration. Taucht man aber in die concentrirte Lösung, nachdem man sie mit dem dritten Theile ihres Volumens reiner Salpetersäure vermischt hat, ein Eisenstäbchen, so wird dieses alsbald schwarz anlaufen, dann weiß und endlich silberweiß glänzend werden. Hierauf löst sich aber das Silber wieder rasch auf, und das Eisenstäbchen erscheint wieder blank. — Endlich wurden diese Erscheinungen durch Schönbein *****) zum Gegenstande tiefer eingehender und umfassender Untersuchungen gemacht. Seine ersten Untersuchungen bezogen sich auf das Zinn.

Ein Stanniolstreifen in rauchende Salpetersäure von 1,5 specifisches Gewicht gebracht, während diese zehn Minuten lang im Sieden erhalten wurde, blieb gänzlich unangegriffen. Tauchte man aber das Zinn in die gleiche Säure von beliebiger Temperatur einige Augenblicke ein und hielt es dann in die Luft, so trat nach einigen Secunden Oxydation ein, die immer an einem Punkte begann, und von da aus schnell über alle mit Säure benetzten Theile sich verbreitete. Dasselbe geschah in trockner Luft und in Wasserstoffgas. Concentrirte Säure vermag also das Zinn nicht zu oxydiren, wenn sie das Metall reichlich bedeckt, wohl aber, sobald sie es in einer dünnen Schicht benetzt.

Vollkommen rostfreie Feilspäne von gewöhnlichem Stabeisen, längere Zeit mit Salpetersäure von 1,5 specifischem Gewicht bei gewöhnlicher Temperatur stehen gelassen, zeigen sich nicht im Mindesten angegriffen, und auch bei höherer Temperatur wirkt die Säure nicht auf das Metall.

An diese bekannte Thatsache anknüpfend, ließ Schönbein in die über

*) Phil. Trans. 1790. Schweigger's Journ. Bd. LIII. S. 151.

**) Schweigg. Journ. Bd. XLIX. S. 470, Bd. L. S. 88 u. 129, Bd. LVI. S. 206. Vergl. auch Pogg. Ann. Bd. VI. S. 44. 51.

***) Ann. de Chim. et de Phys. T. LIV. p. 87. Pogg. Ann. Bd. XXXII. S. 211.

****) Lehrbuch des Galvanismus, S. 409. 416.

*****) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 390. 590. (Das Verhalten des Eisens zum Sauerstoff. Basel 1837). Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 444. 493, Bd. XL. S. 193, (Bericht über die Verhandlung. der naturforschenden Gesellschaft zu Basel 1843. S. 67), Bd. XLI. S. 41, Bd. XLIII. S. 103, Bd. XLVI. S. 331, Bd. LVII. S. 63, Bd. LIX. S. 421.

den Feilspänen stehende Säure so viel Wassertropfen zu, daß sie einen Verdünnungsgrad erhielt, um frisches Eisen rasch angreifen zu können. Die Feilspäne blieben völlig indifferent. Und ein gleiches Verhalten zeigten die Feilspäne, wenn sie zuerst mit Säure von 1,5 eben angefeuchtet und dann mit verdünnterer Säure übergossen wurden. — Eisenfeilspäne, nur einige Secunden über der Weingeistflamme für sich erhitzt, werden weder von concentrirter, noch verdünnter Säure, gleichviel ob die Säure kalt oder warm ist, angegriffen. Als aber Schönbein über solche, durch Glühen angelaufene Feilspäne einen Strom von Wasserstoffgas gehen ließ, bis sie ihre bläuliche Farbe verloren und ihr ursprünglich metallisches Ansehen wieder gewonnen hatten, verhielten sie sich gegen verdünnte Salpetersäure wie ungeglühte.

Wenn Eisendrähte in Salpetersäure von 1,5 getaucht und dann in verdünnte Säure, welche etwa auf 100 Theile Salpetersäure von 1,5 specifischem Gewicht 80 Theile Wasser enthält, gebracht werden, so bleiben sie in dieser passiv, selbst wenn die Säure nahe bis zu ihrem Siedpunkte erhitzt ist. Taucht man aber den mit concentrirter Säure benetzten Draht in Wasser ein oder wischt man ihn ab, so wird er von der verdünnten Säure wieder heftig angegriffen. Erhitzt man das Ende eines Eisendrahtes in der Weingeistflamme bis zum Anlaufen, und taucht hierauf dasselbe in die verdünnte Säure, so wird nicht nur der angelaufene Theil des Drahtes, sondern auch dessen vollkommen metallisch gebliebener Theil von der Säure nicht angegriffen. Der Draht ist seiner ganzen Länge nach passiv geworden. Bringt man z. B. das bis zum Anlaufen erhitzte Ende eines zwei Fuß langen Eisendrahtes in die verdünnte Säure und biegt den längeren über die Flüssigkeit hinausragenden Theil des Drahtes so um, daß dessen zweites Ende in die Säure hinabreicht, so wird dieses nicht angegriffen. Wird aber das ungeglühte Ende in die Säure getaucht, während das geglühte außerhalb derselben sich befindet, so wird das erstere angegriffen wie jeder gewöhnliche Eisendraht. — Wenn man einen Eisendraht, der an einem Ende geglüht ist, mit einem anderen, gewöhnlichen Drahte in Berührung bringt, und hierauf die Enden beider Drähte so in die Säure einführt, daß das geglühte Ende zuerst in dieselbe taucht, so erscheint auch der andere Draht passiv, selbst wenn derselbe nach Einführung in die Säure von ersterem getrennt wird. Und der so passiv gewordene Eisendraht ist im Stande, eine beliebige Anzahl gewöhnlicher Eisendrähte in der angegebenen Weise passiv zu machen. Soll ein Draht, der durch das Glühen eines seiner Enden oder durch Berührung mit einem passiven Drahte passiv geworden, sich nach seiner ganzen Ausdehnung indifferent gegen die Säure verhalten, so muß sein ursprünglich passiv gewordener Theil immer innerhalb der Säure sich befinden, und auch seine metallische Continuität durch nichts unterbrochen sein. Die eben aufgezeigten Erscheinungen treten indeß bei einer Temperatur der Säure von etwa 80° nicht mehr ein, und sind auch um so weniger auffallend, je mehr die Säure sich diesem Wärmegrad nähert.

Setzt man einen Eisendraht mit einem Platindraht in Berührung und läßt diesen in die verdünnte Säure, die aber nicht über 80° erwärmt sein darf, zuerst eintauchen und dann den Eisendraht folgen, so verhält sich dieser vollkommen passiv, d. h. ganz eben so wie ein Draht, dessen Ende geglüht ist. Verbindet man mit dem oberen Ende des in der Säure stehenden passiven Eisendrahtes das eine Ende eines Platindrahtes, und mit dessen anderem Ende das eine Ende

eines gewöhnlichen Eisendrahtes, so erscheint dieser, in die Säure getaucht, ebenfalls passiv. Es ist nur eine sehr geringe Platinmenge erforderlich, um einen beliebig langen Eisendraht passiv zu machen, was sich dadurch ergab, daß das eine Ende eines Drahtes kurze Zeit etwa 2 bis 3 Linien tief in Platinlösung getaucht wurde. Gold wirkte auf eine gleiche Weise. — Alle passiv gewordenen Drähte werden aber in siedender Säure oder bei einer Temperatur, die vom Siedpunkte nicht weit entfernt ist, wieder in active verwandelt. Aber auch durch Erschütterung und Berührung mit Metallen, die von der Säure angegriffen werden, können passive Eisendrähte ihre Activität in der Säure wieder gewinnen.

Schönbein brachte nun Salpetersäure von 1,36 bei gewöhnlicher Temperatur in den Kreis eines aus 15 Volta'schen Elementen bestehenden Becherapparates, von dessen positivem Pol ein Eisen-, vom negativen Pol ein Platindraht in die Säure reichte. Schloß man die Säule mit dem negativen Poldraht, so wurde der Eisendraht auf die gewöhnliche chemische Weise angegriffen; schloß man die Säule mit dem Eisendraht so, daß eines seiner Enden zuerst in die Salpetersäure getaucht und dann das andere Ende mit dem positiven Pol der Säule in Verbindung gesetzt wurde, so trat dieselbe Erscheinung ein; schloß man aber die Säule in der umgekehrten Weise, nämlich so, daß man das eine Ende des Eisendrahtes erst mit dem positiven Pol verband und nachher das zweite Ende in die Salpetersäure tauchen ließ, so wirkte diese durchaus nicht mehr auf das Eisen ein, und dasselbe zeigte sich auch nach seiner Abtrennung vom positiven Pol noch passiv.

Auch durch wiederholtes Eintauchen in verdünnte Salpetersäure (von 1,35 specifischem Gewicht) können Eisendrähte allmälig in den passiven Zustand versetzt werden. Hat man nun einen einfachen Eisendraht oder die Enden eines zur Gabel gebogenen Eisendrahtes durch wiederholtes Eintauchen in Salpetersäure von 1,35 und einer Temperatur von 12° bis 15° indifferent gemacht, befinden sich die Gabelenden in dieser Säure, und berührt man vermittelst eines in dieselbe tauchenden Kupfer- oder Messingdrahtes eines der Drahtenden, so werden beide gleichzeitig, und zwar langsam activ. Diese Thätigkeit ist jedoch, wie Schönbein bemerkt, nicht eine stetige, sondern sie findet stoßweise statt; der Eisendraht wird abwechselnd activ und passiv, anfänglich in Intervallen von etwa einer Zeitsecunde, welche jedoch allmälig immer kürzer werden, bis endlich eine rasche Wirkung eintritt. Wird die Säure erwärmt, so folgen die stoßweisen Wirkungen (Pulsationen) immer schneller auf einander, bis endlich bei einem bestimmten Wärmegrad der Säure die rasche Wirkung eintritt, die immer eine stetige ist. Die Thatsache, daß die stoßweise Thätigkeit allmälig von selbst (ohne künstliche Erwärmung) in die stetige rasche übergeht, erklärt sich nach Schönbein daraus, daß bei der jedesmaligen Einwirkung der Säure auf das Eisen eine gewisse Menge von Wärme entwickelt und dadurch die Temperatur der Säure im Verhältniß der Anzahl stattgehabter Einwirkungen oder Stöße gesteigert wird. Gmelin *) brachte einen Eisendraht in Salpetersäure von 1,5 specifisches Gewicht, deren Temperatur er allmälig steigerte. Bei 80° begann die Gas-

*) Handbuch d. Chem. 4. Aufl. Bd. I. S. 317.

entwickelung, und bei der Siedhitze zeigten sich jene stoßweisen (pulsirenden) Wirkungen, die für ein Drahtbündel schon bei geringer Erwärmung der Säure eintraten, da nämlich in diesem Falle die Temperatur durch die Auflösung einer größeren Eisenmasse gesteigert wurde. Gmelin fand auch, daß, wenn man einen Eisendraht vor dem Beginn des sogenannten Pulsirens aus der Säure herausnimmt, das pulsirende Ende sogleich braun anläuft, während das andere blank erscheint; dagegen laufen, wenn der Draht nach dem Pulsiren herausgenommen wird, beide Enden braun an.

Schönbein bemerkt, daß Eisendrähte, auf welche Art sie auch in den passiven Zustand gegen gewöhnliche Salpetersäure versetzt worden sein mögen, in stark verdünnter Säure wie gewöhnliches Eisen sich verhalten; während ein Eisendraht, als positiver Poldraht dienend, absoluteste chemische Indifferenz gegen Salpetersäure von jedem Verdünnungsgrade zeigt.

Ein Eisendraht, der durch Erhitzen an einem Ende passiv gemacht ist, verhält sich, wie bereits bemerkt, auch am anderen Ende passiv, wenn man dieses Ende in die Säure taucht, in welche jenes Ende bereits gebracht ist. Schönbein füllte nun zwei Gefäße mit Salpetersäure von 1,3 specifisches Gewicht und verband dieselben durch genäßte Asbeststreifen oder durch heberförmig gebogene gefüllte Glasröhren oder endlich durch einen Platindraht. In die Säure des einen Gefäßes kam das passiv gemachte Ende und in das andere Gefäß das zweite Ende des Eisendrahtes. Das letztere erschien aber in diesem Falle nicht passiv. Wurden aber beide Gefäße durch einen Draht CPD (s. beistehende Figur) von Kupfer oder Messing oder überhaupt von einem durch die Säure angreifbaren Metall mit einander verbunden, so erschien das Ende F des Eisendrahtes EF immer passiv, wenn das passive Ende E zuerst in die Säure des Gefäßes A getaucht wurde. War CPD ein Eisendraht, dessen Ende C activ, D passiv, und tauchte man das passive Ende E des Eisendrahtes EF in A, das active F in B, so ward auch dieses passiv. Waren jedoch beide Enden E und F activ und tauchte man E zuerst in A, hierauf F in B, so ward F ebenfalls passiv. Wenn das Ende C des Eisendrahtes CPD activ war und D durch Eintauchen in rauchende Salpetersäure passiv, so wurden sofort alle vier Enden activ, sobald man in B das active Ende F und dann in A das active Ende senkte. Eben so wurden auch mehrere Drähte CPD, deren Enden D alle auf gleiche Weise passiv gemacht waren, activ, wenn man zuerst F und dann E in die Säure tauchte.



Ein Eisendraht, den man durch einmaliges Eintauchen in concentrirte Salpetersäure, oder durch mehrmaliges in gewöhnliche gegen diese selbst passiv gemacht hat, besitzt auch nicht mehr das Vermögen, aus der Auflösung des Kupfervitriols Kupfer zu fällen.

Auch ein Eisendraht, der mit dem positiven Pol einer Säule verbunden ist, und in eine Auflösung von Kupfervitriol eingeführt wird, die bereits in Verbindung mit dem negativen Pol steht, verhält sich gegen diese Flüssigkeit vollkommen indifferent, d. h. es schlägt sich an diesem Drahte keine Spur von

Kupfer nieder, während sich an ihm Sauerstoffgas entwickelt. Dagegen vermag ein durch Erhitzen, durch Berührung mit Platin oder Gold passiv gewordener Eisendraht Kupfer aus der Vitriollösung zu fällen.

Schönbein fand auch, daß Bleihyperoxyd mit Eisen voltaisch combinirt in einem hohen Grade das Vermögen besitzt, dieses Metall in den passiven Zustand zu versetzen. Läßt man nämlich einen gewöhnlichen Eisendraht, der mit dem positiven Pol eines aus zehn Paaren bestehenden Becherapparates verbunden ist, etwa acht bis zehn Minuten lang in einer gesättigten Bleizuckerlösung stehen, während in letztere auch das negative Polende eintaucht, so verhält sich dieser Draht, dessen mit Bleihyperoxyd versehenes Ende a und sein gewöhnliches Ende b heißen möge, gegen gewöhnliche Salpetersäure gerade so, wie ein auf andere Weise passiv gewordener Draht, jedoch mit dem Unterschiede, daß er gegen jede auch noch so sehr verdünnte Säure chemisch indifferent erscheint, also gerade so, wie ein Eisendraht, der mit dem positiven Pol einer Säule verbunden ist. Soll aber diese Indifferenz eintreten, so muß das Ende a vor dem Ende b in die Säure gebracht werden. Das an dem Drahte haftende Bleihyperoxyd verschwindet nach und nach in der Salpetersäure, und sobald dasselbe vollständig verschwunden ist, wird der Draht von der Säure angegriffen. Der Draht veranlaßt in dem Augenblicke, wo er in die Salpetersäure eintaucht, einen elektrischen Strom, der vom Ende b durch die Flüssigkeit in das Hyperoxyd geht, und letzteres also in Bezug auf b negativ macht. Doch verräth dieser Strom am Galvanometer nur eine momentane Dauer. — In ähnlicher Weise wie gegen Bleizuckerlösung verhält sich Eisen gegen eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd; dasselbe wird passiv durch Bildung von Silberhyperoxyd.

Schönbein ließ jeden der Zuleitungsdrähte einer kräftigen einfachen Kette in ein mit Quecksilber gefülltes Näpfchen treten, verband dann das letztere, in welches der negative Leitungsdraht tauchte, durch einen Platinstreifen mit der stark verdünnten Schwefelsäure der Zersetzungszelle, und tauchte hierauf das eine Ende eines gewöhnlichen Eisendrahtes in das positive Quecksilbernäpfchen und dann das andere Ende desselben Drahtes in das gesäuerte Wasser der Zersetzungszelle ein. An der negativen Platinelektrode entwickelte sich dann kein Wasserstoff; es fand unter diesen Umständen keine merkliche Elektrolyse des Wassers statt. Befand sich die ganze Vorrichtung in dem eben beschriebenen Zustande der Unthätigkeit, so konnte derselbe aufgehoben, d. h. eine lebhafte Elektrolyse des Wassers veranlaßt werden, einmal dadurch, daß man innerhalb der Zersetzungsflüssigkeit die negative Platinelektrode einen Augenblick in Berührung setzte mit der positiven Eisenelektrode. Sobald man beide Elektroden von einander entfernt hatte, trat lebhafte Wasserstoffgasentwickelung an der negativen Elektrode ein, die jedoch bald abnahm und nach einigen Secunden ganz aufhörte. Zweitens dadurch, daß man auf einige Augenblicke den Kreis der Kette an einem beliebigen Orte und in beliebiger Weise öffnet. Beim Wiederschließen der Kette findet eine Gasentbindung an der negativen Elektrode statt, der aber schnell wieder der Zustand der Unthätigkeit folgt. Drittens dadurch, daß man die positive Eisenelektrode innerhalb der Zersetzungsflüssigkeit mit einem oxydirbaren Metalle, z. B. mit Zink, Zinn, Kupfer rc. berührt. Die unter diesen Umständen eintretende Gasentwickelung an der negativen Elektrode

dauert aber auch wieder nur einige Secunden. Viertens dadurch, daß man die beiden Quecksilbernäpfchen mittelst eines gut leitenden Kupferdrahtes von etwa 3 Zoll Länge und einer halben Linie Dicke auf einige Augenblicke unter einander verbindet und dann den Kupferdraht wieder entfernt. Im Augenblicke, wo letzteres geschieht, tritt eine lebhafte Wasserstoffgasentbindung an der negativen Elektrode ein, die ebenfalls nur wenige Secunden andauert. Endlich dadurch, daß man den Theil des positiven Eisendrahts, der in die Zersetzungsflüssigkeit eintaucht, lebhaft bewegt, ohne aber hierdurch den Kreis der Kette zu öffnen.

Wenn man dem oben erwähnten Kupferdraht, der die beiden Quecksilbernäpfchen mit einander verbindet, eine Länge von sechs Zollen gibt, so findet an der negativen Elektrode schon eine merkliche Gasentwickelung statt, die mit der Verlängerung des Drahtes bis zu sechszehn Fuß zunimmt. Ueberschreitet man aber diese Länge noch um einige Fuß mehr, so beginnt die Wasserstoffentwickelung erst einige Secunden nach der Verbindung der Quecksilbernäpfchen durch den Draht. Diese Gasentwickelung ist jedoch lebhafter als bei der Anwendung kürzerer Kupferdrähte, dauert aber nur kurze Zeit, es folgt ein Zustand der Ruhe, und dann neue Thätigkeit, bis nach einem solchen Wechsel von elektrolytischer Ruhe und Thätigkeit endlich der positive Eisendraht in den Zustand dauernder Unthätigkeit zurückfällt. Ist der die Näpfchen verbindende Kupferdraht mehrere hundert Fuß lang und von einer halben Linie Dicke, so treten alle Erscheinungen gerade so ein, als ständen die Näpfchen außer aller leitenden Verbindung. — Dient zur Verbindung der Näpfchen ein anderer als Kupferdraht, so lehrt die Erfahrung, daß der Erfolg in der Zersetzungszelle im Allgemeinen nach dem Leitungsvermögen des angewendeten Metalls sich richtet.

Wird in die Zersetzungszelle Salzsäure, Brom, Jod, Fluorwasserstoffsäure, oder eine Lösung von Kochsalz, Bromkalium, Jodkalium oder von irgend einem Haloidsalze gebracht, so treten jene Erscheinungen nicht ein, wenigstens nicht in einem wahrnehmbaren Grade. Dagegen verhält sich das Eisen in verdünnter Salpetersäure und Phosphorsäure im Allgemeinen so, wie in der wässerigen Schwefelsäure.

Das Kupfer zeigt, als positive Elektrode angewandt, einige Analogie mit dem Eisen, nur daß es etwas schwieriger als dieses in den Zustand der Unthätigkeit tritt.

Da das passive Eisen hinsichtlich seiner Volta'schen Eigenschaften dem Platin sehr ähnlich ist, so liefert eine Combination beider Metalle auch nur einen sehr schwachen elektrischen Strom.

Von Interesse sind noch folgende Versuche Schönbein's. Umwindet man das Ende eines gewöhnlichen Eisendrahtes, das in verdünnter Schwefelsäure als positive Elektrode einer einfachen Kette dienen soll, mit einem kleinen Stückchen dünnen Platindrahtes, und schließt man die Kette dadurch, daß man dieses mit Platindraht umwickelte Ende des Eisendrahtes in die erwähnte Flüssigkeit eintaucht, so wird am Platin, so lange die Kette geschlossen bleibt, kein Wasserstoff sich entbinden. Auch wird unter diesen Umständen an der negativen Platinelektrode der Kette nur wenig Gas sich entwickeln. Oeffnet man nun die Kette irgendwo in der Weise, daß das mit Platin versehene Ende des positiven Eisendrahtes ruhig in der verdünnten Schwefelsäure bleibt, so tritt an dem

Platin zwar Gasentwickelung ein, jedoch erst nach einiger Zeit. Schließt man die Kette wieder, bevor die Gasentbindung am Platin des Eisendrahtes sichtbar wird, so fällt auch die Wasserstoffentwickelung an der negativen Elektrode der Kette äußerst schwach aus. Wartet man aber mit dem Schließen der letzteren so lange ab, bis Wasserstoffbläschen an dem mit dem positiven Eisendrahte verbundenen Platin auftreten, so tritt auch eine lebhafte Gasentwickelung an der negativen Elektrode in dem Augenblicke ein, wo der Volta'sche Kreis geschlossen wird. Diese Entwickelung dauert jedoch nur einige Secunden. — Schönbein untersuchte auch noch das merkwürdige Verhalten eines gewöhnlichen Eisendrahtes, dessen eines Ende mit einer Hülle von Bleihyperoxyd versehen ist und als positive Elektrode einer Kette dient. Um die eben genannte Hülle zu erhalten, kann man nach Schönbein vortheilhaft einen gewöhnlichen Eisendraht als positive Elektrode einer mäßig kräftigen Säule dreißig Secunden lang etwa vier Linien tief in eine Bleizuckerlösung eintauchen und nachher mit Wasser abspülen. Wird nun das mit dem Hyperoxyd überzogene Ende des Eisendrahtes als positive Elektrode einer einfachen Kette in verdünnte Schwefelsäure so eingetaucht, daß diese Flüssigkeit noch einen Theil des unbedeckten Eisens umschließt, so wird sich ein solcher Draht gerade so wie ein Gold- oder Platindraht verhalten. Es entwickelt sich keine merkliche Wasserstoffmenge in dem Falle, wo mit dem Hyperoxydende die Kette geschlossen wird; und das gleiche negative Resultat erhält man, wenn die Kette erst geöffnet und nach kürzerer oder längerer Zeit wieder geschlossen wird, während der Versuchsdraht in die verdünnte Schwefelsäure eintaucht. Die Elektrolyse des Wassers beginnt aber sofort lebhaft, wenn der präparirte Eisendraht innerhalb der verdünnten Schwefelsäure an einem nicht mit Hyperoxyd bedeckten Theile mit irgend einem leicht oxydirbaren Metalle, wie z. B. mit Zink, Zinn, Kadmium, Kupfer &c. berührt wird. Es hört jedoch die Gasentbindung an der negativen Elektrode wieder auf, sobald man die genannten Metalle von dem Versuchsdrahte entfernt. Wird mit dem letzteren ein Stück gewöhnlichen Eisendrahtes in Berührung gesetzt, so entsteht zwar ebenfalls eine lebhafte; aber nur einige Augenblicke dauernde Gasentbindung an der negativen Elektrode, wenn auch die Berührung zwischen dem Versuchsdrahte und gewöhnlichen Eisen nicht unterbrochen wird. Das letztere tritt nämlich unter diesen Umständen gleichfalls in den passiven Zustand, was mit anderen Metallen nicht geschieht, wenigstens nicht in einem merklichen Grade. — Das eigenthümliche Verhalten des mit Bleihyperoxyd combinirten Eisendrahtes findet indessen nur so lange statt, als an ihm jene Substanz mit Innigkeit haftet. Nach einiger, und zwar ziemlich kurzer Zeit lockert sich dieselbe vom Drahte ab; zum Theil wird sie auch reducirt. Und ist dieser Zustand eingetreten, so verhält sich der Draht wie ein gewöhnlicher.

Wenn der positive Zuleitungsdraht einer Kette und das eine Ende des eben betrachteten Versuchsdrahtes in ein Quecksilbernäpfchen eintauchen, und das mit Bleihyperoxyd behaftete Ende desselben Drahtes in der verdünnten Schwefelsäure der Zersetzungszelle sich befindet, so kann man bei offener Kette eine beliebige Anzahl gewöhnlicher Eisendrähte als positive Elektroden in die erwähnte Flüssigkeit einführen, nämlich das eine Ende derselben zuerst in das Quecksilbernäpfchen und nachher das andere Ende in die Flüssigkeit der Zersetzungszelle, ohne daß beim Schließen der Kette die Wasserstoffentbindung an der negativen

Elektrode selbst auch nur augenblicklich angefacht würde. Alle Eisendrähte, auf solche Weise in den Volta'schen Kreis eingeführt, werden passiv und verhalten sich beim Schließen der Kette ganz wie Platindrähte. Wird der Versuchsdraht aus der sauren Flüssigkeit entfernt, so beharren die übrigen in ihr befindlichen Eisendrähte in ihrer Passivität, falls die Kette geschlossen bleibt; wird aber die letztere geöffnet und nach einigen Secunden wieder geschlossen, so findet in dem Augenblicke, wo dies geschieht, eine äußerst lebhafte Entbindung von Wasserstoffgas an der negativen Elektrode statt, die indessen auch wieder nur kurze Zeit andauert. — Stellt man diesen Versuch, anstatt mit gewöhnlichen Eisendrähten, mit Drähten aus Kupfer, Zinn ꝛc. an, so wird hierdurch eine lebhafte und andauernde Wasserstoffentbindung an der negativen Elektrode der Kette eingeleitet.

Schönbein bemerkt noch, daß die vorhin erwähnten Thatsachen ihren nächsten Grund in der Passivität des Eisens haben, welche durch das Bleihyperoxyd bewirkt werde, das bekanntlich einer der allerelektronegativsten Körper sei, und in dieser Beziehung selbst das Platin noch übertreffe.

Die beschriebenen Passivitätserscheinungen des Eisens stehen wohl ohne Zweifel mit gewissen elektrischen Verhältnissen in naher Beziehung. Das Eisen wird negativ elektrisch und dadurch indifferent gegen den Sauerstoff. Schönbein *) bemerkte ausdrücklich, daß die Erregung dieses Zustandes, wie auch die Fortdauer desselben durch irgend eine elektrische Thätigkeit vermittelt werde, die jedoch nicht als eine eigentliche Volta'sche Strömung, sondern vielmehr als eine elektrische Spannung von bestimmtem Grade zu betrachten sei.

Faraday **), der die ersten Versuche Schönbein's wiederholte, fand, daß ein Eisendraht, welcher mit dem Ende eines Galvanometerdrahtes verbunden war, durch das gleichzeitige Einsenken eines Platindrahtes, der mit dem anderen Ende des Galvanometers in Verbindung stand, in Salpetersäure passiv wird. Zwei Drähte, ein Eisen- und ein Platindraht, mit dem Galvanometer verbunden und in Salpetersäure von 1,35 specifisches Gewicht getaucht, geben einen elektrischen Strom. Das Eisen ist positiv elektrisch; doch bald hört seine Auflösung und auch der elektrische Strom dieser Kette auf; das Eisen ist passiv. Dasselbe Resultat erscheint, wenn man anstatt des Platins Gold oder Kohle nimmt.

Faraday leitete die Erscheinungen der Passivität des Eisens aus einem dünnen Ueberzuge von Oxyd ab, der beim Erhitzen und Eintauchen in concentrirte Säure entstehe, und das Eisen vor weiterer Oxydation schütze; doch hielt er diese Ansicht nicht fest ***).

Nach Mousson ****) soll sich eine dünne Hülle von salpetriger Säure an das in die concentrirte Salpetersäure getauchte Eisen anlegen und das letztere unlöslich machen. Daher soll auch der kurz dauernde elektrische Strom entstehen, der im ersten Augenblick des Einsenkens der Drähte in die Säure wahr-

*) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 72 ff.
**) Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. IX. p. 53 ff.
***) Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. X. p. 175.
****) Bibl. univ. 1836. p. 165. Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 330.

nehmbar wird. Dieser Strom soll die Ansammlung der salpetrigen Säure hindern oder fördern, je nachdem er Säure zuführt oder entfernt, womit denn auch der Wechsel des elektrochemischen Verhaltens der Metalle gegen Salpetersäure in Verbindung stehe.

Schönbein *) erhob gegen diese Ansicht sehr gegründete Bedenken, die einer Widerlegung gleichgeachtet werden können, während Gmelin **) die oben erwähnte Faraday'sche Ansicht vertheidigte. Das Eisen erhält durch Erhitzen einen Ueberzug von Eisenoxyd-Oxydul, eben so in Salpetersäure von dem specif. Gewicht 1,35 durch die Verbindung mit Platin, indem hier in Folge des elektrischen Stromes die Oxydation des Eisens begünstigt wird; und eben so ist es, wenn das Eisen als positive Elektrode benutzt wird. Durch oxydirbare Metalle wird der passive Zustand aufgehoben, insofern dieselben den Sauerstoff der Säure aufnehmen und die negative Elektricität dem Eisen zuführen, denn sich das ausgeschiedene Stickstoffoxyd zuwendet, welches dann die Oxydhaut durch Entziehung von Sauerstoff zerstört.

Martens ***), der die Erscheinung aufzuklären suchte, daß das passive Eisen schnell activ gemacht werden kann, wenn man es die Rolle der negativen Elektrode eines elektrischen Stromes spielen läßt, wies darauf hin, daß viele der Umstände, unter welchen das active Eisen passiv wird, von einem elektrischen Strome begleitet seien, dessen negative Elektrode das Eisen sei. Den von Schönbein angestellten, S. 150 durch eine Figur erläuterten Versuch erklärt Martens aus dem Umstande, daß Kupfer positiv elektrisch gegen passives Eisen und negativ gegen gewöhnliches Eisen ist, und aus den hieraus folgenden elektrischen Strömungen.

In Verbindung mit Ryke fand Martens, daß ein gewöhnlicher Eisendraht in einem trocknen Wasserstoffstrome bis zur Rothgluth erhitzt sich gleichfalls passiv erwies. Der Eisendraht hatte auch unter diesen Umständen dieselbe bläuliche Farbe angenommen, die er in der Weingeistflamme bekommt, woraus Martens schloß, daß diese Farbe nicht das Resultat einer Oxydation sei. Beetz ****) wiederholte diese Versuche Martens', und leitete hierbei das angewandte Gas, um dasselbe von allen Verunreinigungen zu befreien, zuerst durch eine Auflösung von Bleioxyd in starker Kalilauge, dann durch einen mit concentrirter Schwefelsäure gefüllten Kugelapparat, darauf, um jede Spur mitgerissener Schwefelsäure zu entfernen, über geschmolzenes kaustisches Kali in einer etwa 3/4 Fuß langen Röhre, dann durch eine 2 Fuß lange Röhre mit geschmolzenem Chlorcalcium gefüllt, und endlich, um auch die letzten Antheile atmosphärischer Luft fortzunehmen, durch ein Rohr mit metallischem Kalium, das vorher sorgfältig durch Beschneiden großer Kugeln vom anhaftenden Steinöl befreit war. Das Gas trat dann in eine Glasröhre, deren nach unten gebogenes Ende durch Quecksilber, Oel, oder, noch besser, durch flüssiges Rose'sches Metall abgesperrt war, weil beim nachherigen Erhitzen der heiße Gasstrom die

---

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 137. 342.

**) Handbuch d. Chem. 4. Aufl. Bd. I. S. 318.

***) Bullet. de l'Acad. de Brux. 1840. T. I. p. 393. 1841. T. II. p. 305. 1842. T. II. p. 22. Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 121.

****) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 234.

beiden ersten Substanzen leicht zum Verdampfen bringt. Trotz dieser Vorsichtsmaßregel lief aber ein in der Glasröhre liegender Eisendraht jedesmal an. Ganz eben so verhielt es sich, wenn statt des Wasserstoffs Kohlensäure angewandt wurde, die durch concentrirte Auflösung von kohlensaurem Kali, Schwefelsäure, ein mit Kreidestücken und ein mit Chlorcalcium gefülltes Rohr geleitet war. Hierauf operirte Beetz *) mit einem auf galvanischem Wege erhaltenen Wasserstoffstrome. Der Eisendraht lief auch hier blau an, und bei diesen und späteren, mit auf gewöhnliche Weise dargestelltem Wasserstoffgase angestellten Versuchen sprachen einige Erscheinungen auffallend für die Ansicht, daß das Anlaufen des Eisens nur in einer Oxydation bestehe. Das Eisen lief nämlich, wenn durchaus kein freies Sauerstoffgas eingemischt war, erst bei ziemlich starker Rothglühhitze an, mäßigte man aber, nachdem der farbige Ueberzug eingetreten war, die Temperatur bis zu der dunklen Glühhitze, bei welcher das Wasserstoffgas die Oxyde des Eisens zu reduciren vermag, so verschwand der Anflug vollkommen, und erschien auch beim Erkalten nicht wieder. Wenn aber das angelaufene Metall sogleich nach dem Rothglühen aus dem Feuer gebracht wurde, so blieb auch der Anlauf zurück. Es mußte sich also erst bei starker Glühhitze Sauerstoff entwickelt haben, der auf dem Eisen sogleich eine Oxydschicht bildete, die aber bei der Reductionstemperatur wieder zersetzt wird, und bei niederer Hitze nicht wieder entstehen kann.

Beetz schließt nun aus seinen Versuchen, daß die Ursache des Anlaufens immer geringe Spuren von Wasser sind, die sich erst bei Rothglühhitze zersetzen, aber schon bei niederer Temperatur wieder erzeugt werden. Der Draht selbst enthält Feuchtigkeit, die mit großer Kraft an demselben haftet, und durch deren Zersetzung ihm der zur Oxydation nöthige Sauerstoff geliefert wird. Diese geringe Feuchtigkeitsmenge ist auf keine andere Weise zu entfernen, als dadurch, daß man den Draht längere Zeit einer Temperatur von etwa 100° aussetzt, ehe man ihn zum Glühen erhitzt. Natürlich dürfen aber auch an keiner Stelle des angewandten Drahtes Spuren von Oxyd haften, weil diese durch den Wasserstoff reducirt und das entstandene Wasser wieder zersetzt werden würde. — Außerdem aber kommen wirklich bei sehr sorgfältigem Trocknen geringe Spuren von Wasser in die Röhre, und Beetz erinnert daran, wie vorsichtig man bei der Darstellung vollkommen trockner Gase zu Werke gehen müsse, namentlich, daß man dieselben sehr langsam durch die Trockenvorrichtungen zu führen habe. — Das Anlaufen des Eisens im Wasserstoff kann endlich, wie Beetz bemerkt, noch einen anderen Grund haben. Wenn man nämlich lange Zeit hindurch einen Gasstrom unterhalten will, so sieht man sich oft genöthigt, Schwefelsäure in die Entbindungsflasche nachzugießen. Hat man aber einen Eisendraht längere Zeit erhitzt, ohne einen Anlauf darauf zu bemerken, so tritt dieser gewiß ein, wenige Secunden nachdem man einen neuen Schwefelsäureaufguß, selbst mit der größten Vorsicht, gemacht hat, um keine atmosphärische Luft mit in die Entbindungsflasche zu bringen. Die Schwefelsäure selbst aber enthält Luft absorbirt, wovon man sich dadurch überzeugen kann, daß unter der Luftpumpe Gasblasen aus derselben entweichen. — Vermeidet man den

*) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 236.

Zutritt der Luft und der Wasserdämpfe, so kann man den Eisendraht beliebig lange erhitzen, selbst stark glühen, ohne einen Anflug darauf zu bemerken. Sicherer als in einem Gasstrome geschieht dies noch, wenn man, nachdem das Gas lange genug durch die Röhre gegangen war, den Strom unterbricht, um jeden Zufluß schädlicher Substanzen zu verhindern. In kochendem Quecksilber oder irgend einem schmelzenden Metall laufen Eisendrähte durchaus nicht an; selbst nicht in glühendem Zink, wenn nur das Eisen gleich beim Schmelzen in dasselbe gebracht wird, um erst vollkommen darin trocknen zu können.

Die durch das Erhitzen des Eisens hervorgebrachte Passivität hat nach Beetz ihren Grund lediglich in einer dünnen Oxydhaut. Ein Draht, der in einer Wasserstoffatmosphäre oder unter einem schmelzenden Metall ohne Anlauf erhitzt ist, wird von Salpetersäure eben so schnell angegriffen als ein gewöhnlicher. Das Charakteristische des passiven Eisens ist, daß es in der Salpetersäure sein metallisches Ansehen vollkommen beibehält.

Bringt man zwei blanke Eisendrähte als Elektroden einer einfachen Grove'schen Kette in verdünnte Schwefelsäure, so tritt starke Wasserzersetzung ein, und die positive Elektrode schwärzt sich. Nach einiger Zeit aber wird sie passiv, die Wasserzersetzung hört auf, weil sich der passive Draht stark negativ verhält gegen den activen, wie dies bereits Schönbein beobachtet hatte. Zugleich fällt die Oxydhaut stückweise von ihm ab, so daß der Draht vollkommen blank wird. Läßt man die Elektroden zuvor anlaufen, so desoxydirt sich die negative, aber die Wasserzersetzung geht fort, und es tritt keine Passivität ein. Setzt man jetzt den Strom der primären Kette um, so daß auch die andere Elektrode blank wird, so wird die jetzt positive Elektrode nach einiger Zeit passiv, und die Wasserzersetzung hört auf. Das Erhitzen macht also, schließt Beetz, das Eisen nicht nur nicht passiv, sondern verhindert es sogar, als positive Elektrode angewandt, passiv zu werden.

Während nach Beetz die Farbenveränderung (Anlauf) des Eisens immer in einer Oxydation besteht, da weder ein in einer Flüssigkeit, noch in einer ganz reinen Wasserstoffatmosphäre erhitzter Eisendraht eine Farbenveränderung auf seiner Oberfläche zeigt, hegte Martens *) die Meinung, daß diese Farbenveränderung eine Wirkung des Erhitzens sei, und dachte dabei an eine moleculare Veränderung des Eisens. Beetz **) unterstützte aber seine Ansicht noch durch anderweitige Gründe, und zeigte insbesondere darauf hin, daß die Einflüsse, durch welche das Eisen passiv wird, das Gemeinsame haben, daß sie dieses Metall zuerst mit einer negativen elektrischen Schicht an seiner Oberfläche bekleiden. Diese Schicht läßt sich durch gewisse Behandlungsweisen entfernen, und dann erscheint das Eisen gegen gewöhnliches, polirtes Eisen positiv elektrisch. So wird ein durch Erhitzen oxydirter Eisendraht positiv gegen einen gewöhnlichen, wenn man die Oxydhaut durch Eintauchen in eine Säure oder durch Abreiben mit Sandpapier entfernt. Ein in einem geschmolzenen Metalle oder in einer sauerstofffreien Atmosphäre erhitzter Eisendraht ist positiv gegen einen polirten, und ein in Salpetersäure passiv gemachter Eisendraht

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 412.
**) Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 415.

wird positiv gegen einen gewöhnlichen, wenn man seine Passivität durch Abreiben oder Abspülen aufhebt. Und endlich ein als positive Elektrode gebrauchter Eisendraht, den man nicht bis zum Passivwerden im Strome gelassen hat, oder dessen eingetretene Passivität aufgehoben ist, positiv gegen einen gewöhnlichen Eisendraht.

Wetzlar *), der von Neuem seine Aufmerksamkeit den Passivitätserscheinungen des Eisens zuwandte, gesteht zwar zu, daß die von Beetz weiter verfolgte Faraday'sche Ansicht über die Passivität des Eisens, wonach dieselbe ihre Ursache zunächst in einer dünnen Oxydhaut haben soll, auf die meisten hierüber bekannten Thatsachen anwendbar sei, vermag jedoch mit manchem Einzelnen in dieser Theorie nicht übereinzustimmen. Namentlich erscheint ihm die von Beetz **) versuchte Erklärung der Passivität des Eisens in der Lösung des salpetersauren Silberoxyds als unstatthaft.

Das Hauptergebniß seiner Versuche findet Wetzlar darin, daß die Veränderung im elektromotorischen und demgemäß auch im chemischen Verhalten, welche das Eisen sowohl durch Flüssigkeiten, wie durch Abreibung, Erwärmen ꝛc. erleidet, allerdings nur durch das Zustandekommen und die Gegenwart von, ihrer Feinheit wegen oft unsichtbaren, Ueberzügen bewirkt werden könne.

Wetzlar ermittelte bei seinen Versuchen das elektrische Verhalten eines Metalls gegen ein anderes, und die elektromotorischen Veränderungen, welche ein solches durch Flüssigkeiten oder andere Einflüsse erleidet, durch das Bohnenberger'sche condensirende Elektroskop.

Wetzlar fand nun, daß wenn man von zwei blanken und metallisch glänzenden Eisen- oder Stahlscheiben, die nach einem vorläufigen Versuche am Condensator sich vollkommen homogen verhalten, die eine mit Rost- oder Schmirgelpapier abreibt, sich diese bei sofortiger Prüfung positiv gegen die andere nicht abgeriebene verhält, und zog aus seinen Versuchen den Schluß, daß das anscheinend blankste Eisen von einem nicht bemerkbaren Ueberzuge einer Substanz bedeckt ist, die es gegen Eisen von vollkommen frischer Oberfläche elektronegativ macht. Wiewohl nun Faraday schon erinnert hat, daß sich das auf das sorgfältigste rein gescheuerte Eisen sofort an der Luft, auch bei gewöhnlicher Temperatur, mit einer unsichtbaren Oxydschicht überziehe, so ist Wetzlar doch nicht geneigt, jenen Ueberzug für Eisenoxyd zu halten, sondern für dieselbe Substanz, die sich nach Fizeau auf der Oberfläche polirter und metallischer Körper aus der Atmosphäre in einer sehr dünnen, sinnlich nicht wahrnehmbaren Schicht absetzt, und welche nach demselben an der Entstehung der bekannten Moser'schen Lichtbilder den Hauptantheil trägt.

Auch erinnert Wetzlar an eine Wahrnehmung Schröder's, nach welcher ein Eisendraht durch Benetzen oder bloßes Eintauchen in destillirtes Wasser augenblicklich eine negative Veränderung erhält, die Schröder der Bildung eines schlecht leitenden Ueberzugs zuschreibt.

Die gewöhnliche Annahme, daß Eisen, in irgend einer Flüssigkeit passiv geworden, selbst nicht mit der größten Vorsicht abgewischt werden könne, ohne

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 417.
**) Pogg. Ann. Heft 2. 1846.

daß die Passivität zerstört werde, findet nach Wetzlar nicht allemal statt. Schon früher hatte er gezeigt, daß Stahldrähte die durch eine neutrale Lösung des salpetersauren Silbers empfangene chemische Indifferenz gegen salpetersaure Kupferlösung selbst durch starkes Abreiben mit Fließpapier oder mit einem mit Pariser Roth belegten Leder nicht einbüßen. Auch fand er, daß ein durch Silberlösung passiv gemachter Draht, mit Rostpapier abgerieben, gleich nachher und in den folgenden Stunden als der Passivität verlustig sich zeigt und daher die erwähnte Kupferlösung reducirt, nach längerem Liegen an der Luft aber, z. B. bis zum folgenden Tag, den anfänglichen Zustand von Unwirksamkeit zurückerhält und sich daher in der salpetersauren Kupferlösung von Neuem passiv erweist. Nach Wetzlar sind es in diesem Falle die dem Abreiben entgangenen, an dem Drahte zurückbleibenden Reste des unsichtbaren Ueberzuges, die den Grund eines solchen Verhaltens abgeben.

Es kann nun wohl keinem Zweifel unterliegen, daß die Passivitätserscheinungen ihren Grund wesentlich in einer negativ elektrischen Hülle haben, von der jedoch noch nicht völlig ausgemacht zu sein scheint, daß sie in allen Fällen aus einer Oxydschicht besteht. Nach Beetz wird das Eisen durch Oxydation stärker passiv als andere Metalle, weil die elektromotorische Kraft zwischen dem Eisen und seinem Oxyd mächtiger als bei anderen Metallen und ihren Oxyden ist.

Wismuth wird nach Andrews *) ebenfalls passiv. Derselbe tauchte ein Stück dieses Metalls in Salpetersäure von 1,4 specif. Gewicht und berührte es mit einer größeren Platinplatte. Die Auflösung des Wismuths hörte dann fast ganz auf, und dasselbe nahm einen eigenthümlichen Glanz an. Durch wiederholte Berührung mit Platin steigerte sich der Glanz; das Wismuth überzog sich hierauf mit einer dunklen Haut, die jedoch wieder verschwand und eine metallische Fläche zurückließ. Mit Kupfer erhielt Andrews ähnliche Resultate.

Nach Schönbein **) wird Wismuth nicht wie Eisen vollständig passiv, so daß bei demselben eine schwache Auflösung fortdauert. Auch Andrews hält die Passivität des Wismuths für geringer als die des Eisens, während sich sonst beide Metalle auf gleiche Weise verhalten.

Zinn erschien in Salpetersäure von 1,5 specif. Gewicht passiv, und auch in Salpetersäure von 1,47 specif. Gewicht, falls sich die Säure in einem Platingefäße befand und das Zinn mit diesem in Berührung stand, und endlich auch, wenn es die positive Elektrode einer Säule bildete.

Kupfer wird durch Berührung mit Platin in Salpetersäure von 1,47 specif. Gewicht passiv, während dasselbe ohne Platin vor dem Eintritt der Passivität erst einige Auflösung erfährt. Auch in Salpetersäure von 1,5 specif. Gewicht wird das Kupfer passiv.

Zink gewinnt Passivität einmal durch Berührung mit Platin, und dann auch, wenn es als positive Elektrode einer Kette benutzt wird.

Paternosterwerk, s. Wasserhebemaschine.

Pegel, s. Ströme.

---

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. 75. T. XII. p. 305. Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 121.

**) Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 1.

Pendel (franz. pendule, engl. pendulum). **Ein Pendel** (von pendere lat. herabhängen) ist ein Körper, der an einer Stelle beweglich aufgehangen ist, und auf welchen in der Ruhe oder in der Bewegung vorzugsweise die eigene Schwere wirkt. Der Körper selbst kann im Allgemeinen jede Gestalt haben, er kann entweder aus einem festen Stück oder aus beweglichen Theilen bestehen, z. B. Gelenke, Glieder haben oder aus einem Faden mit daran befestigtem schweren Körper gebildet werden. Das Pendel ist entweder an einem Punkt aufgehängt, so daß es nach verschiedenen Richtungen hin beweglich ist, oder es hängt an einer horizontalen Axe, und die Beweglichkeit ist dann auf eine Ebene eingeschränkt. Immer aber muß die Stelle der Aufhängung außerhalb des Schwerpunkts liegen, weil sonst die Schwere des Körpers ohne Einfluß auf den Gleichgewichtszustand des Körpers bliebe; jede übrige Stelle des Körpers aber kann zur Aufhängung benutzt werden. Ein so aufgehängter Körper kann nur dann für sich im Gleichgewicht sein, wenn sein Schwerpunkt vertical unter dem Aufhängungspunkte liegt. Daher kann das Pendel in der Ruhe dazu dienen, jene verticale Richtung anzugeben, falls nämlich die Verbindungslinie des Schwerpunktes mit dem Aufhängungspunkte sich leicht erkennen läßt. Zu diesem Zwecke besteht das Pendel gewöhnlich aus einem biegsamen Faden, der an dem einen Ende aufgehängt ist, am anderen aber eine Kugel (Blei- oder Messingkugel) oder einen cylindrischen und unten conisch zugespitzten schweren Körper trägt. Im Gleichgewichtszustande giebt dann der Faden und in der Verlängerung desselben die gedachte conische Spitze die Schwerrichtung an. In dieser Anwendung führt die Vorrichtung weniger den Namen Pendel, gewöhnlich heißt sie Senkel, Loth, Bleiloth; nur wenn der Bewegungszustand eines außerhalb seines Schwerpunktes aufgehängten und unter dem vorzugsweisen Einfluß seiner Schwere stehenden Körpers Gegenstand der Auffassung ist, heißt diese Vorrichtung Pendel.

Die Bewegung des Pendels tritt ein, wenn das Pendel durch irgend eine Ursache aus der Gleichgewichtslage gebracht und dann dem Einfluß seiner Schwere überlassen ist, die Bewegung selbst ist das Wiederaufsuchen jenes Gleichgewichtszustandes. In diesem Gleichgewichtszustande hat der Schwerpunkt des Pendels die möglichst tiefste Lage unter dem Aufhängungspunkte, kehrt aber das Pendel in diese Lage mit irgend einer Geschwindigkeit zurück, so wird es in Folge seines Beharrungsvermögens auch sogleich über diesen Zustand hinausgeführt, der durch seine tiefste Lage gegangene Schwerpunkt des Pendels beginnt wieder zu steigen, und da jetzt die Schwere der Pendelbewegung entgegen wirkt, so kommt dieses zwar bald zur Ruhe, aber nicht in einer Lage, in der es verharren kann, sondern aus der es zurückfallen muß, um von neuem seinen Gleichgewichtszustand zu suchen und zwar wiederum mit demselben Erfolge. Daher sind die Bewegungen des Pendels Schwingungen (Oscillationen), und ein einmal in Bewegung gesetztes Pendel könnte durch seine eigene Schwere nie wieder zur Ruhe kommen, wenn nicht andere Kräfte, die nebenher wirken, nämlich vorzugsweise Reibung und Luftwiderstand, dasselbe allmälig zur Ruhe brächten.

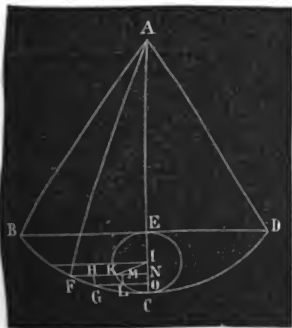
Man erkennt, daß das Pendel nach Gestalt, Zusammensetzung, Aufhängungsart und Bewegungsform eine sehr große Mannichfaltigkeit zuläßt. Aus dieser Mannichfaltigkeit heben wir nur zwei Hauptarten zu gesonderter Betrachtung hervor. 1) Ein fester unbiegsamer Körper bewegt sich um eine horizontale Axe, so daß seine Schwerlinie in einer Verticalebene bleiben muß und sein Schwerpunkt

einen Kreisbogen beschreibt. Kreispendel. 2) Ein fester unbiegsamer Körper bewegt sich um einen Punkt so, daß seine Schwerlinie in dem Mantel eines geraden Kegels mit verticaler Axe bleiben muß und sein Schwerpunkt eine ganze Kreislinie beschreibt. Kegelpendel, conisches oder Centrifugalpendel. Andere Pendelarten sollen, so weit sie von Bedeutung sind, im Anschluß an diese beiden Hauptarten besprochen werden.

A. Das Kreispendel. Das einfachste Kreispendel wäre eine gerade, schwerlose, unbiegsame Linie, an dem einen Endpunkt beweglich aufgehängt und am anderen mit einem schweren Punkt versehen. Es ist theoretisch vorstellbar, kann aber praktisch nicht ausgeführt werden, und heißt einfaches oder mathematisches Pendel. Das wirkliche körperliche Pendel heißt im Gegensatz hierzu zusammengesetztes, materielles oder physisches Pendel.

Der größte Winkel, den die Pendellinie des einfachen Pendels mit der Verticalen bildet, heißt sein Ausschlag (Ausschlagswinkel, Elongationswinkel), und die Bewegung von einem Ausschlag bis zum nächsten, der auf der anderen Seite der Verticalen liegt, wobei also der schwere Punkt den Kreisbogen seiner Bahn nur einmal durchläuft, heißt eine Schwingung, und die dazu verwandte Zeit heißt die Schwingungszeit. Es entsteht nun die Frage, in welchem Zusammenhange stehen die Länge des Pendels, die Schwingungszeit und der Ausschlagswinkel. Es wird sich zeigen, daß die Betrachtung besonders vereinfacht werden wird, wenn wir Schwingungen von nur geringer Weite voraussetzen.

Es sei in beistehender Figur ABD die Ebene, in welcher ein einfaches Pendel AB = AD von der Länge l um den Punkt A sich dreht, die Bewegung des schweren Punktes beginne in B und gehe bis D, AC sei die Verticallinie des Gleichgewichtszustandes, EC = h die Höhe des Bogens BD. F sei ein beliebiger Punkt auf der Bahn BCD; FN sei parallel BD gezogen. Befindet sich nun der schwere Pendelpunkt in F, so hat er von B aus in verticaler Richtung sich um das Stück EN gesenkt, und er wird dann eine Geschwindigkeit haben, die gleich der Fallgeschwindigkeit durch EN sein wird. Denn wo nur ein schwerer Punkt sich auf einer schiefen Ebene oder auf einer krummen Fläche in Folge seiner Schwere herabbewegt, hat er überall eine Geschwindigkeit, die gleich der Fallgeschwindigkeit durch die Verticalprojection seines jedesmaligen Weges ist. Setzen wir nun EN = x und bezeichnen mit g die Beschleunigung der Schwerkraft, so folgt für die Geschwindigkeit v des Pendelpunktes in F der Werth



$$(1) \quad v = \sqrt{2gx},$$

weil eben so groß die Geschwindigkeit sein würde, die ein frei durch EN fallender Körper erlangen würde. (Siehe d. Art. Bewegung und Fall.)

Ist nun G ein anderer Punkt der Bahn, der so nahe an F liegt, daß wir die Bewegung von F nach G als gleichförmig ansehen können, und ist die kleine Zeit dieser Bewegung mit τ bezeichnet, so ist

$$2)\quad \tau = \frac{FG}{v} = \frac{FG}{\sqrt{2gx}}.$$

Zieht man nun GO parallel mit FN und GH senkrecht dazu, so folgt aus der Aehnlichkeit der Dreiecke AFN und FGH:

$$FG = \frac{GH \cdot AF}{FN}.$$

Nun ist $FA = l$, $FN = \sqrt{CN\,(2\,AC - CN)}$. Sind die Schwingungen des Pendels nur von geringer Weite, so kann man dann CN gegen 2 AC vernachlässigen; es ist also annähernd $FN = \sqrt{2 \cdot CN \cdot AC} = \sqrt{2\,l\,(h - x)}$. Folglich ist eben so annähernd:

$$3)\quad FG = GH \sqrt{\frac{l}{2\,(h - x)}}.$$

Construirt man über EC als Durchmesser einen Kreis, der die Linien FN und GO in K und L schneidet, und zieht KJ nach dem Mittelpunkt J des Kreises und LM senkrecht zu FN, so folgt aus der Aehnlichkeit der Dreiecke KLM und JKN:

$$GH = LM = \frac{KL \cdot KN}{KJ} = \frac{KL \cdot \sqrt{EN \cdot CN}}{KJ} = 2\,KL\,\frac{\sqrt{x\,(h - x)}}{h}.$$

Setzen wir diesen Werth in 3) und den dann erfolgenden Werth für FG in 2), so erhalten wir:

$$4)\quad \tau = \frac{KL}{h}\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Bezeichnen wir nun mit t die Zeit der ganzen Schwingung von B bis D, so ist

$$5)\quad t = \frac{1}{h}\sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \Sigma\,(KL).$$

Der kleine Bogen KL entspricht der Pendelbewegung von FG, denken wir nun alle kleinen Bogen des Kreises EC, die der Reihe nach sämmtlichen Theilen der ganzen Schwingung entsprechen, so ist ihre Summe gleich der ganzen Peripherie des Kreises EC, demnach können wir setzen:

$\Sigma\,(KL) = h\,\pi$, folglich ist nun:

$$6)\quad t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Da in dieser Formel h, die Höhe des Schwingungsbogens, nicht vorkommt, so folgt, daß alle kleinen Schwingungen desselben Pendels unabhängig von der Weite der Schwingung in derselben Zeit erfolgen, isochron oder tautochron sind.

Hat man zwei einfache Pendel von der Länge l und l' und den Schwingungszeiten t und t' und schwingen beide an derselben Stelle der Erde, so daß für beide g denselben Werth behält, so folgt unmittelbar aus 6):

$$7) \quad t : t' = \sqrt{l} : \sqrt{l'}$$
$$t^2 : t'^2 = l : l'.$$

Die Schwingungszeiten zweier einfacher Pendel verhalten sich also wie die Quadratwurzeln aus ihren Längen, oder die Pendellängen verhalten sich wie die Quadrate ihrer Schwingungszeiten.

Die Richtigkeit dieser Sätze läßt sich sehr einfach experimental veranschaulichen. Ein sehr dünner Faden mit einer kleinen daran hängenden Kugel kann annähernd ein einfaches Pendel vorstellen. Verkürzt man nun die ursprüngliche Fadenlänge auf das $^1/_4$, $^1/_9$, $^1/_{16}$ fache, so kann man leicht erkennen, daß die Schwingungen jetzt 2, 3, 4 Mal so schnell als vorher erfolgen.

Die Größe g dient als Maß für die Intensität der Schwere; da dieselbe nicht überall auf der Erdoberfläche dieselbe ist, so wird ein Pendel von unveränderlicher Länge an verschiedenen Stellen der Erde auch verschieden schwingen. Denken wir uns nun dasselbe einfache Pendel von der Länge l an zwei Orten, an welchen die Intensität der Schwere beziehungsweise durch g und g' gemessen wird, schwingen und sind jetzt t und t' die Schwingungszeiten, so folgt aus 6):

$$8) \quad t : t' = \sqrt{g'} : \sqrt{g}$$
$$g : g' = t'^2 : t^2.$$

d. h. mit Worten:

Die Schwingungszeiten gleichlanger einfacher Pendel an verschiedenen Stellen der Erde verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Intensitäten der Schwere, und die Intensitäten der Schwere an verschiedenen Orten der Erde verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten gleichlanger einfacher Pendel. Bekanntlich gab diese Thatsache zuerst Veranlassung, aus dem ungleichen Gang derselben Pendeluhr zu Paris und Cayenne auf die verschiedene Intensität der Schwere an verschiedenen Orten der Erdoberfläche zu schließen (vergl. d. Art. Erde), und das Pendel ist überhaupt das einfachste und beste Mittel, ein genaues Maß für jene Intensität zu finden. Denn stellt man t und l durch Beobachtung und anderweit daran geknüpfte Rechnung fest, so folgt unmittelbar aus 6):

$$9) \quad g = \frac{\pi^2 l}{t^2}.$$

Beobachtet man ein Pendel während einer längeren Zeit T und ist n die Anzahl der in dieser Zeit vollendeten Schwingungen (Schwingungszahl), so ist natürlich $n t = T$, oder nach 6)

$$10) \quad n = \frac{T}{t} = \frac{T}{\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}.$$

Ist nun n' die Schwingungszahl eines zweiten Pendels für dieselbe Zeit T, so ist

$$11) \quad n : n' = \sqrt{\frac{g}{l}} : \sqrt{\frac{g'}{l'}}.$$

Hieraus ergeben sich nun folgende Sätze:

Bei zwei einfachen Pendeln, die an derselben Stelle der Erde schwingen, verhalten sich die Schwingungszahlen umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus der Länge, oder die Pendellängen verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszahlen.

Bei zwei gleichlangen, aber an verschiedenen Stellen der Erde schwingenden Pendeln verhalten sich die Schwingungszahlen gerade wie die Quadratwurzeln aus den Intensitäten der Schwere, und die Intensitäten der Schwere verhalten sich gerade wie die Quadrate der Schwingungszahlen.

Ein Pendel, das gerade eine Secunde lang schwingt, heißt Secundenpendel. Ist L die Länge des einfachen Secundenpendels, so folgt aus 6), wenn für t der Werth 1 gesetzt wird:

$$12) \quad L = \frac{g}{\pi^2}.$$

Man unterscheidet übrigens das Decimal- und das Sexagesimal-Secundenpendel, je nachdem man die Decimal- oder Sexagesimaleintheilung der Zeit zu Grunde legt. Nach der Decimaleintheilung hat der Tag 10 Stunden, die Stunde 100 Minuten, die Minute 100 Secunden, der Tag also 100000 Secunden, während er nach der gewöhnlichen oder Sexagesimaleintheilung $24 . 60 . 60 = 86400$ Secunden enthält. Das Decimal-Secundenpendel muß also kürzer sein, und ist nach Borda die Länge des Sexagesimalpendels zu Paris $993^{mm},8267$, so folgt daraus für die Länge des Decimalpendels $741^{mm},8873$.

Die oben gefundene Formel 6) ist nur eine Näherungsformel, sie giebt nur genügend richtige Werthe unter der Voraussetzung ganz kleiner Schwingungen. Für Schwingungen von merklicher Weite erhalten wir etwas größere Schwingungszeiten. Denn da wir oben durch Vernachlässigung von CN gegen 2 . AC für FN einen etwas zu großen Werth eingeführt haben, so mußte FG, und in Folge davon auch τ und t zu klein ausfallen. Um für t einen genaueren Werth zu erhalten, führen wir für FN den vollen Werth $\sqrt{(h-x)(2l-h+x)}$ ein, verfahren im Uebrigen wie oben und erhalten dann:

$$13) \quad \tau = \frac{KL}{h} . \sqrt{\frac{l}{g}} . \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{h-x}{2l}}}.$$

Entwickelt man die letzte Wurzelgröße nach dem binomischen Satz in eine Reihe, so erhält man:

$$14) \quad \tau = \frac{KL}{h} \sqrt{\frac{l}{g}} . \left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{h-x}{2l}\right) + \frac{3}{8}\left(\frac{h-x}{2l}\right)^2 + \frac{5}{16}\left(\frac{h-x}{2l}\right)^3 + \ldots\right].$$

Um nun durch Summation dieses Werthes die Größe t zu finden, setzt man $\angle EJK = \varphi$, dann ist $KL = \frac{1}{2} h \, d\varphi$ und $h - x = \frac{1}{2} h (1 + \cos\varphi)$ und $\tau = dt$. Nun ist:

$$15)\quad dt = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}\Big[1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{h}{4l}\cdot(1+\cos\varphi) + \frac{3}{8}\cdot\left(\frac{h}{4l}\right)^2(1+\cos\varphi)^2$$

$$+ \frac{5}{16}\left(\frac{h}{4l}\right)^3\cdot(1+\cos\varphi)^3\ldots\Big]d\varphi = \sqrt{\frac{l}{g}}\Big[1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{h}{2l}(\cos{}^1/_2\,\varphi)^2$$

$$+ \frac{3}{8}\cdot\left(\frac{h}{2l}\right)^2(\cos{}^1/_2\,\varphi)^4 + \frac{5}{16}\cdot\left(\frac{h}{2l}\right)^2(\cos{}^1/_2\,\varphi)^6\ldots\Big]\,d\,({}^1/_2\,\varphi).$$

Um den Werth für die ganze Schwingungszeit zu finden, müssen wir für φ zwischen den Grenzen 2π und o, also für $^1/_2\,\varphi$ zwischen π und o integriren, und da nun nach der theilweisen Integration

$$\int\cos\alpha^{2n}\,d\alpha = \frac{\cos\alpha^{2n-1}\sin\alpha + (2n-1)\int\cos\alpha^{2n-2}\,d\alpha}{2n} \text{ ist,}$$

so folgt weiter

$$\int_0^\pi\cos\alpha^{2n}\,d\alpha = \frac{2n-1}{2n}\int_0^\pi\cos\alpha^{2n-2}\,d\alpha = \frac{1.3.5\ldots 2n-1}{2.4.6\ldots.2n}\,\pi.$$

Mit Hülfe dieses Werthes erhalten wir nun:

$$16)\quad t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2\cdot\frac{h}{2l} + \left(\frac{1.3}{2.4}\right)^2\left(\frac{h}{2l}\right)^2 + \left(\frac{1.3.5}{2.4.6}\right)^2\cdot\left(\frac{h}{2l}\right)^3 + \ldots\right].$$

Hieraus sehen wir nun, daß die Schwingungsdauer mit dem Schwingungsbogen wächst. Macht das Pendel halbkreisförmige Schwingungen, so ist $h = l$ und es wird dann

$$t = 1{,}180\,\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Für kleine Schwingungsbogen nehmen übrigens die Glieder der eingeklammerten Reihe so schnell ab, daß man für viele Fälle schon hinreichend genaue Werthe erhält, wenn man die Reihe nach dem zweiten Gliede abbricht. Demnach ist dann:

$$17)\quad t = \pi\left(1 + \frac{1}{8}\cdot\frac{h}{l}\right)\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Wie wenig aber für kleine Ausschlagswinkel die wirkliche Schwingungsdauer nach 16) von der nach 6) abweicht, mögen folgende Zahlenwerthe angeben.

Ist der Elongationswinkel α, so ist das zweite Glied der obigen Reihe in 16) für $\alpha = 30'$ nur 0,0000046, für $\alpha = 1^0$ nur 0,0000190, für $\alpha = 1^0\,30'$ nur 0,0000428, für $\alpha = 2^0$ nur 0,0000761, für $\alpha = 2^0\,30'$ nur 0,0001189, für $\alpha = 3^0$ nur 0,0001463, für $\alpha = 4^0$ nur 0,0003044, für $\alpha = 5^0$ nur 0,0004756. Das dritte Glied der Reihe ist selbst für $\alpha = 5^0$ nur 0,00000508.

Denkt man sich ein Pendel, dessen schwerer Punkt nicht in einem Kreisbogen sich bewegt, sondern in einem Cycloidenbogen, so würden sämmtliche Schwingungen ganz unabhängig von der Weite der Schwingungen in derselben Zeit erfolgen, also isochronisch sein. Ein solches Pendel heißt das Cy-

cloidenpendel. Nehmen wir an, es sei BCD in Figur S. 161 kein Kreisbogen, sondern ein Cycloidenbogenstück, entstanden durch Abwälzung eines Kreises vom Radius r auf einer horizontalen Bahn. Behandeln wir dann CA als Abscissenaxe und C als den Anfangspunkt derselben, setzen CN = x, FN = y, Bogen CF = s, so ist die Gleichung der Cycloide:

$$18) \quad y = \sqrt{x(2r - x)} + r \, A \cos \frac{r - x}{r}; \text{ dann ist}$$

$$dy = dx \sqrt{\frac{2r - x}{x}}, \; ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dx \sqrt{\frac{2r}{x}}.$$

Bezeichnet nun v die Geschwindigkeit des schweren Punktes in F, so folgen für die Bewegung folgende zwei Gleichungen:

$$v\,dt = -\,ds.$$

$$dv = g \frac{dx}{ds} . \, dt.$$

Ist nun B wieder der Anfangspunkt der Pendelbewegung, aber nicht des Cycloidenbogens, und ist CE = h, so folgt aus den beiden letzten Gleichungen durch Multiplication und Integration:

$$v = \sqrt{2g(h - x)}, \text{ und weiter}$$

$$dt = -\sqrt{\frac{r}{g}} . \frac{dx}{\sqrt{x(h - x)}}.$$

Die Zeit t′ nun, in welcher die Bewegung von B bis C vollbracht wird, ist nun:

$$t' = -\int_h^0 \sqrt{\frac{r}{g}} . \frac{dx}{\sqrt{x(h - x)}} = \pi \sqrt{\frac{r}{g}}.$$

Also folgt für die Zeit t der ganzen Schwingung:

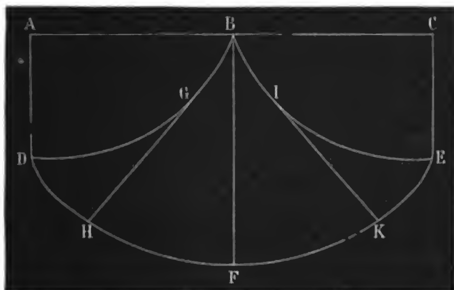
$$14) \quad t = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}}.$$

Dieser Werth ist von h unabhängig, also sind alle Schwingungen isochron.

Ein einfaches Cycloidenpendel läßt sich dadurch herstellen, daß man die Eigenschaft der Cycloide benutzt, nach welcher ihre Evolvente ebenfalls eine Cycloide ist, die zugleich mit ihr congruent ist. Sind DGB und BJE zwei halbe Cycloiden, die durch Abwälzung eines Kreises zum Durchmesser AD auf AC entstanden sind, so entsteht durch Abwickelung dieser Cycloidenbogen dann die Cycloide DFE. Denkt man sich nun, die Bogen DB und BE bildeten die äußeren Begrenzungen zweier Körper, so daß das in B aufgehängte Fadenpendel von der Länge BF = 2 AD sich bei seinen Schwingungen abwechselnd an BD und BE anlegt, so wird der Endpunkt F des Pendels sich in der Cycloide DFE bewegen und die Schwingungen werden alle gleichzeitig sein.

Gehen wir nun über zur Betrachtung des physischen Pendels, so ergiebt sich zunächst, daß seine Bewegung vorzugsweise von der Vertheilung seiner Masse in Beziehung zu dem Aufhängungspunkt abhängt. Das Maß nun für den Einfluß, den die Vertheilung der Masse eines um eine Axe drehbaren Körpers auf die

Beschleunigung oder Verzögerung der Drehung ausübt, nennt man das **Trägheitsmoment** dieses Körpers, und es ist nöthig, hier an die Hauptsätze über



das Trägheitsmoment zu erinnern, deren Begründung jedoch in dem betreffenden Artikel selbst nachzusehen ist.

1) Das Trägheitsmoment ist die Productensumme der Massentheilchen eines Körpers in das Quadrat ihres Abstandes von der Drehaxe.

2) Es ist für eine durch den Schwerpunkt des Körpers gehende Drehaxe am kleinsten (T), für eine mit dieser parallelen ist es (T′) um das Product aus der Masse (M) in das Quadrat des Abstandes (d) beider Drehaxen größer. Es ist also:

$$20)\quad T' = T + M d^2.$$

3) Ist T das Trägheitsmoment eines Körpers von der Masse M, und denkt man sich in der Entfernung a von der Axe die Masse M′ in einen Punkt vereinigt und sollen beide Massen dasselbe Trägheitsvermögen haben, so ist

$$21)\quad T = M' a^2, \text{ also } M' = \frac{T}{a^2}.$$

(Reduction der Masse M auf einen Punkt.)

4) Denken wir uns die Drehaxe für die nachfolgenden Körper durch den Schwerpunkt gehen, so ist

a) für ein Parallelepiped von der Länge l, der Breite b, wenn die Drehaxe mit der dritten Dimension parallel ist:

$$22)\quad T = M \frac{l^2 + b^2}{12},$$

b) für eine Kugel zum Radius r

$$23)\quad T = M \cdot \frac{2 r^2}{5},$$

c) für einen Cylinder zum Radius r, wenn die Drehaxe mit der geometrischen Axe zusammenfällt,

$$24)\quad T = M \cdot \frac{r^2}{2},$$

d) für einen Kugelabschnitt von der Höhe h, wenn r der Kugelradius ist und die Drehaxe mit der geometrischen zusammenfällt:

$$25)\quad T = M \frac{h\,(20\,r^2 - 15\,rh + 3\,h^2)}{10\,(3\,r - h)}, \text{ oder angenähert}$$

$$T = M \,.\, \frac{2}{3} h \left(r - \frac{5}{12} h\right);$$

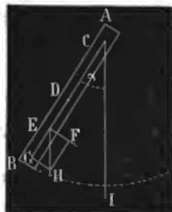
(Dieselbe Formel gilt auch für eine aus zwei gleichen Kugelabschnitten zusammengesetzte Linse.)

e) für eine aus zwei gleichen Kugelabschnitten zusammengesetzte Linse, wenn h die Höhe jedes Abschnitts, r der Kugelradius ist, und die Drehaxe in die gemeinschaftliche Ebene beider Abschnitte fällt:

$$26)\quad T = M \,.\, \frac{h\,(20\,r^2 - 5\,rh + h^2)}{20\,(3\,r - h)}, \text{ oder angenähert}$$

$$T = M \,.\, \frac{1}{3} h \left(r + \frac{1}{12} h\right).$$

Das physische Pendel heißt deshalb zusammengesetztes Pendel, weil man es aus so vielen einfachen Pendeln zusammengesetzt denken kann, als Massentheilchen vorhanden sind, indem jedes Massentheilchen als der schwere Punkt eines einfachen Pendels erscheint. Die der Drehaxe näher liegenden Massentheilchen haben nun das Bestreben, schnellere Schwingungen zu machen als die entfernteren Massentheilchen, jene werden also auf diese beschleunigend, diese aber auf jene verzögernd wirken. Daher schwingt ein an einem Ende aufgehangenes physisches Pendel immer schneller als ein gleichlanges einfaches Pendel, es läßt sich aber auf der Längsaxe eines physischen Pendels immer ein Punkt angeben, der von der Drehaxe gerade so weit absteht, als die Länge eines mit dem physischen Pendel übereinstimmende Schwingungen machenden einfachen Pendels beträgt. Dieser Punkt heißt **Schwingungsmittelpunkt** des Pendels, und die Bestimmung seiner Lage wird uns jetzt zunächst beschäftigen.



Es stelle A B in beistehender Figur ein physisches Pendel vor, das in C aufgehangen ist, und dessen Schwerpunkt in D liege. Die Längsaxe C D, d. i. die Verbindungslinie des Aufhängungspunktes mit dem Schwerpunkte, bilde mit der Verticalen den Winkel α, auf ihr liege der Schwingungsmittelpunkt in E. Es sei M die Masse des Pendels, T sein Trägheitsmoment für die Axe C, es sei $CD = a$ und $CE = x$.

Reduciren wir die Masse M des Pendels auf den Schwingungsmittelpunkt E, so erhalten wir nach 21) für die reducirte Masse M':

$$M' = \frac{T}{x^2}.$$

Das Gewicht des Pendels ist Mg, sein Angriffspunkt ist D, sein statisches Moment für C als Centrum ist Mga. Denken wir uns in E eine andere Kraft

P in der Richtung der Schwere wirken, die denselben Einfluß auf die Drehung ausübte, als das Gewicht M g im Punkte D, so muß sein:

$$P = \frac{M g a}{x}.$$

Wirkt nun in E auf die Masse M' die Kraft P, so erhalten wir in der Richtung der Schwere eine Beschleunigung:

$$\frac{P}{M'} = \frac{M g a}{x} : \frac{T}{x^2} = \frac{M g a x}{T}$$

in der Richtung der Schwingungsbewegung E F ist aber diese Beschleunigung:

$$\frac{M g a x}{T} \sin \alpha.$$

Für ein einfaches Pendel C E würde aber die Beschleunigung der Schwingungsbewegung in E sein $g \sin \alpha$; da aber das physische Pendel A B sich genau wie das einfache Pendel C E verhalten soll, so folgt:

$$\frac{M g a x}{T} \sin \alpha = g \sin \alpha, \text{ oder}$$

$$27) \quad x = \frac{T}{M a}.$$

Die Länge des einfachen Pendels, das mit einem physischen Pendel gleiche Schwingungen macht, ist gleich dem Quotienten aus dem Trägheitsmoment durch das statische Moment der Pendelmasse.

Bezeichnen wir nun mit $\mathfrak{T} = M k^2$ das Trägheitsmoment des schwingenden Körpers für eine durch den Schwerpunkt gehende Drehaxe, so folgt für die durch den Aufhängungspunkt gehende Drehaxe das Trägheitsmoment nach 20)

$$T = \mathfrak{T} + M a^2 = M (k^2 + a^2), \text{ also:}$$

$$28) \quad x = a + \frac{k^2}{a}$$

d. h. der Mittelpunkt der Schwingung liegt stets unter dem Schwerpunkt; bezeichnen wir die Entfernung dieser beiden Punkte mit a', so ist selbstverständlich

$$a' = \frac{k^2}{a} \text{ oder}$$

$$29) \quad a a' = k^2, \; x = a + a'.$$

Diese Formel zeigt zunächst die merkwürdige, zuerst von Huyghens erkannte Eigenschaft des physischen Pendels, daß a und a' ihre Bedeutungen vertauschen können, ohne daß sich die Länge x des entsprechenden einfachen Pendels ändert; d. h. **wenn man den Schwingungsmittelpunkt zum Aufhängungspunkt macht, so wird der bisherige Aufhängungspunkt jetzt Schwingungsmittelpunkt**, oder die Schwingungen eines physischen Pendels bleiben unverändert, wenn man auch seinen Aufhängungspunkt in den bisherigen Schwingungsmittelpunkt verlegt. Umgekehrt läßt sich die Länge des einfachen Pendels durch Versuche bestimmen, wenn es gelingt an dem schwin-

genden Körper zwei Schwingungsaxen anzubringen, welche gleichzeitige Schwingungen geben. Ein solches Pendel heißt Reversionspendel. Der Vorschlag zu solchem Pendel ist zuerst von Bohnenberger in seiner „Astronomie" 1811 gemacht, zur Anwendung gebracht ist er zuerst von Kater.

Die Formel 29) zeigt noch eine zweite Eigenschaft schwingender Körper. Je kleiner a ist, d. h. je näher am Schwerpunkt man die Schwingungsaxe eines Körpers anbringt, desto größer wird a′ und damit auch x, desto langsamer sind also die Schwingungen. Man hat es also in seiner Gewalt, durch Veränderung des Aufhängungspunktes die Schwingungen eines Körpers beliebig langsam vorgehen zu lassen. Weiter erkennt man leicht, daß $x = a + a'$ dann ein Minimum ist, wenn $a = a' = k$ ist. Die Größe k giebt also die Entfernung an, in welcher der Aufhängungspunkt von dem Schwerpunkte sich befinden muß, wenn die Länge des entsprechenden einfachen Pendels und also auch die Zeitdauer der Schwingung ein Kleinstes sein soll. Nun erkennt man aus 21) leicht, daß k die Entfernung eines Punktes von der Drehaxe ist, in welchem gerade die ganze Masse M des Körpers vereint gedacht werden kann, so daß sie hier dieselbe Trägheit ausübt als in ihrer wirklichen Vertheilung. Da man nun einen solchen Punkt, deren natürlich beliebig viele, aber in gleicher Entfernung von der Drehaxe gedacht werden können, Mittelpunkt der Trägheit nennt, so folgt daraus der Satz:

Soll ein gewisser Körper die möglichst schnellsten Pendelschwingungen machen, so muß sein Aufhängungspunkt mit einem Trägheitsmittelpunkt zusammenfallen, letzteren auf eine durch den Schwerpunkt gehende Drehaxe bezogen.

Wir wenden nun die Formeln 20) bis 28) auf einige besondere Fälle an, in denen wir stets die Länge des isochronen einfachen Pendels mit L bezeichnen wollen. Die Größe k^2 ist der in den Formeln 22) bis 26) mit M verbundene Factor.

1) Schwingt ein homogener prismatischer Körper von der Länge l und von geringer Dicke um eine an dem einen Ende angebrachte Drehaxe, so ist:

$$30)\quad L = \frac{2}{3}\,l.$$

Denn es ist $a = \frac{1}{2}\,l$, $k^2 = \frac{l^2}{12}$, da b zu vernachlässigen ist.

2) Schwingt eine Kugel zum Radius r an einem dünnen Faden, und ist der Mittelpunkt der Kugel vom Aufhängungspunkt um l entfernt, so folgt, wenn der Einfluß des materiellen Fadens nicht beachtet wird:

$$31)\quad L = l + \frac{2\,r^2}{5\,l}.$$

Denn $a = l$, da der Schwerpunkt des Ganzen mit dem Mittelpunkt der Kugel zusammenfällt, und $k^2 = \frac{2}{5}\,r^2$.

3) Soll der Einfluß des Fadens oder einer entsprechenden dünnen Stange beachtet werden, und ist p das Gewicht der Kugel, p′ das Gewicht und l′ die Länge des Fadens, so ist

$$32)\quad L = \frac{\frac{1}{3}\,p'\,l'^2 + p\,(l^2 + \frac{2}{5}\,r^2)}{\frac{1}{2}\,p'\,l' + p\,l}.$$

Denn es ist $Tg = \frac{1}{3}\,p'\,l'^2 + p\,(l^2 + \frac{2}{5}\,r^2)$ und $Mg = p + p'$, $a = \dfrac{\frac{1}{2}\,p'\,l' + p\,l}{p' + p}$.

4) Befindet sich an der Stelle der Kugel eine dünne cylindrische Scheibe zum Radius r, deren Gewicht p ist, so folgt:

$$33)\quad L = \frac{\frac{1}{2}\,p'\,l'^2 + p\,(l^2 + \frac{1}{2}\,r^2)}{\frac{1}{2}\,p'\,l' + p\,l}.$$

(Vergl. Nr. 24.)

5) Befindet sich an der Stelle der Kugel eine Linse, deren Krümmungsflächen den Kugelradius r haben und deren Dicke h und deren Gewicht p ist, so folgt annähernd nach 25)

$$34)\quad L = \frac{\frac{1}{3}\,p'\,l'^2 + p\,(l^2 + \frac{2}{3}\,h\,(r - \frac{5}{12}\,h))}{\frac{1}{2}\,p'\,l' + p\,l}.$$

Bezeichnen wir mit ϱ den Radius der Linsenscheibe, so ist $\varrho^2 = h\,(2\,r - h)$, und es folgt:

$$35)\quad L = \frac{\frac{1}{3}\,p'\,l'^2 + p\left(l^2 + \frac{6\,\varrho^2 + h^2}{18}\right)}{\frac{1}{2}\,p'\,l' + p\,l}.$$

6) Steht aber die Linsenscheibe auf der Längsrichtung des Pendels senkrecht, so folgt nach 26)

$$36)\ L = \frac{\frac{1}{3}\,p'\,l'^2 + p\left(l^2 + \frac{1}{3}\,h\,(r + \frac{1}{12}\,h)\right)}{\frac{1}{2}\,p'\,l' + p\,l} = \frac{\frac{1}{3}\,p'\,l'^2 + p\left(l^2 + \frac{6\,\varrho^2 + 7\,h^2}{36}\right)}{\frac{1}{2}\,p'\,l' + p\,l}.$$

Bei den wirklichen Schwingungen eines physischen Pendels wirken noch einige Nebenursachen auf die Dauer der Schwingungszeit ein, die berücksichtigt werden müssen, um die genaue Länge des Secundenpendels aus den Beobachtungen ableiten zu können. Dahin gehört: 1) die veränderliche Weite der aufeinanderfolgenden Schwingungen, denen streng genommen auch veränderliche Schwingungsdauern entsprechen; 2) die Temperatur des Pendels, von welcher seine genaue Länge wieder abhängig ist; 3) der Widerstand der Luft, durch welchen die Schwingungen verlangsamt werden; 4) die Art der Aufhängung des Pendels, da eine Aufhängung in einem mathematischen Punkt nicht ausführbar ist und 5) die

Erhebung über der Meeresfläche, weil hiervon die Intensität der Schwere abhängig ist.

Correction wegen der veränderlichen Schwingungsweite. Nach der oben ausgeführten Entwickelung hat die Höhe des Schwingungsbogens einen geringen Einfluß auf die Schwingungsdauer. Es ist nach 17) $t = \pi \left(1 + \frac{1}{8} \cdot \frac{h}{l}\right) \sqrt{\frac{l}{g}}$. Um diesen Einfluß so gering als möglich zu machen, giebt man bei sorgfältigen Pendelbeobachtungen dem Pendel nur einen geringen Ausschlag, man geht nicht wohl über $1^0,5$ hinaus; dennoch würde dieser Einfluß bei langdauernden Beobachtungen sich merklich machen, aber es wäre die Correction auf ein Pendel von unmerklichem Ausschlag nach unserer Formel 17) leicht, wenn sich nicht während der Beobachtung fortwährend die Schwingungsweiten und damit auch die Schwingungszeiten verminderten. Ist die Elongation der ersten Schwingung α_1, die der n^{ten} α_n, so folgt aus 17) die Dauer der ersten Schwingung $\pi \left(1 + \frac{1}{8}(1 - \cos\alpha_1)\right) \sqrt{\frac{l}{g}} = \pi \left(1 + \frac{\sin\alpha_1^2}{16}\right) \sqrt{\frac{l}{g}}$, die der letzten $\pi \left(1 + \frac{\sin\alpha_n^2}{16}\right) \sqrt{\frac{l}{g}}$. Nimmt man nun an, daß alle Elongationen von α_1 bis α_n eine geometrische Reihe bilden, so findet man annähernd als die Summe aller Schwingungszeiten

$$n \left(1 + \frac{\sin\alpha_1 (\sin\alpha_1 - \sin\alpha_n)}{16 \log nat. \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_n}}\right) \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Ist nun n' die Anzahl der Schwingungen, die in gleicher Zeit ein Pendel l in unendlich kleinen Elongationen machen würde, so ist

$$37) \quad n' = n \left(1 + \frac{\sin\alpha_1 (\sin\alpha_1 - \sin\alpha_n)}{16 \log nat. \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_n}}\right).$$

Correction wegen der Temperatur. Es kommen hier drei Temperaturen in Betracht. Die Temperatur t der Beobachtung, die Temperatur t', die das Pendel hatte, als es mit dem Maßstab gemessen wurde, und die Temperatur t'', für welche der Maßstab fixirt ist. Es sei nun l die gemessene Länge des Pendelfadens, l' die wirkliche bei der Beobachtung, es sei d der Ausdehnungscoefficient für 1^0 Temperatur der Fadenmasse, und eben so d' der für die Masse des Maßstabes, so hat man zunächst $l' = l\,[1 + d\,(t - t')]$, wenn l' auf den Maßstab mit der Temperatur t' bezogen wird; diese Länge aber auf die Normaltemperatur t'' des Maßstabs bezogen ist.

$$38) \quad l' = l\,[1 + d\,(t - t')]\,[1 + d'\,(t' - t'')] = l\,[1 + d\,(t - t') + d'\,(t' - t'')].$$

Nach dieser Formel können auch die anderen Theile des Pendels reducirt werden.

Nach den Versuchen von Sabine entsprechen einer Temperaturverschiedenheit von 1^0 F. 0,44 Schwingungen in 24 Stunden; Kater fand durch directe

Messung seines Pendels hierfür 0,423 Schwingungen, und Cap. Lütke 0,458 Schwingungen aus seinen Versuchen.

Correction wegen des Luftwiderstandes. Zunächst wird durch den Einfluß der Luft das absolute Gewicht des Pendels vermindert, dadurch wird in 27) der Werth des Nenners vermindert, der Werth für x aber vermehrt. Setzen wir l für x, und bezeichnen mit P das absolute Gewicht des Pendels, so geht 27) über in

$$l = \frac{Tg}{Pa}.$$

Der Nenner Pa ist das statische Moment des Pendelgewichts, davon käme in Abzug das statische Moment des Gewichts der verdrängten Luftmasse. Ist p das Gewicht dieser Luftmenge, b der Abstand ihres Schwerpunkts vom Aufhängungspunkte des Pendels, so folgt für die corrigirte Pendellänge:

$$39)\quad l' = \frac{Tg}{Pa - pb} = l \cdot \frac{Pa}{Pa - pb} = l\left(1 + \frac{pb}{Pa}\right).$$

Ist μ das specifische Gewicht der Luft, das des Pendels als Einheit genommen, so ist $\mu = \frac{p}{P}$,

also $l' = l\left(1 + \mu\frac{b}{a}\right)$; für homogene Pendel ist $a = b$, also $l' = l\,(1 + \mu)$.

Nun folgt für die Schwingungszeit t', die dasselbe Pendel von der Länge l im luftleeren Raume haben würde, während es unter dem statischen Einfluß der Luft die Schwingungszeit t hat:

$$l' : l = t^2 : t'^2, \text{ also}$$

$$40)\quad t' = t\sqrt{\frac{l}{l'}} = t\left(1 - \frac{1}{2}\cdot\frac{pb}{Pa}\right) = t\left(1 - \frac{1}{2}\mu\frac{b}{a}\right)$$

und für die auf die Luftleere reducirte Schwingungszahl hat man:

$$41)\quad n' = n\left(1 + \frac{1}{2}\mu\frac{b}{a}\right).$$

Nun hat aber die Luft auch einen dynamischen Einfluß auf die Bewegung des Pendels, indem sie sich als Hinderniß dieser Bewegung entgegensetzt. Bessel hat über diesen Gegenstand weitläufige Rechnungen und sorgfältige Versuche angestellt, doch scheint diese Frage immer noch nicht vollständig gelöst zu sein. Bessel gelangt zu einer Reductionsformel, die mit unserer bisherigen Bezeichnung folgende Gestalt annimmt:

$$42)\quad L = \frac{(k^2 + a^2)(P + p\chi)}{Pa - pb}.$$

Hierin bezeichnet L die in Bezug auf den Luftwiderstand corrigirte Länge des einfachen Pendels, χ ist eine Constante, deren Werth durch Versuche mit Kugeln von Messing und Elfenbein bestimmt wird zu 0,9459. Will man aber nicht die Pendellänge auf den leeren Raum reduciren, sondern die Schwingungszeit, so ist das gegebene Pendel an sich einem einfachen Pendel von der Länge

$\frac{(a^2 + k^2)}{a}$ isochron, und ist t die Schwingungszeit des gegebenen Pendels in der Luft, T aber die im luftleeren Raume, so ist:

$$L : \frac{a^2 + k^2}{a} = t^2 : T^2 \text{ also}$$

$$43) \quad T = t \sqrt{\frac{a^2 + k^2}{a L}} = t \sqrt{\frac{Pa - pb}{a(P + p\chi)}},$$

oder annähernd, wenn b = a gesetzt wird:

$$44) \quad T = t \left(1 - \frac{p}{2P}(1 + \chi)\right).$$

Dieser letzten Formel bediente sich Bessel zur Reduction der französischen Pendelversuche. Capitän Sabine ließ, um den Einfluß der Luft auf den Gang des Pendels durch Versuche festzustellen, das Pendel in atmosphärischer Luft, in verdünnter Luft und im Wasserstoffgase schwingen, und fand als mittleres Resultat, daß zur Reduction auf den leeren Raum täglich 10,36 Schwingungen addirt werden müssen, während die Formel nur 6,26 gab. Zugleich fand Sabine, daß die Verzögerung des Pendels in atmosphärischer Luft zu der im Wasserstoff sich wie 5,25 : 1 verhielt, während doch die Formel das Verhältniß der specifischen Gewichte, nämlich 13 : 1 giebt.

Reduction wegen der Art der Aufhängung.

Pendel mit fester Pendelstange werden gewöhnlich mittelst Messerschneiden aufgehängt. Hat man aber anstatt der Pendelstange einen Faden, so klemmt man denselben entweder an seinem oberen Ende ein oder man wickelt ihn um einen Cylinder. Die Messerschneiden sind kleine stählerne Prismen, die Schneide, mit welcher sie auf einer polirten Achatplatte aufruhen, bildet einen Winkel von 90° oder 120°. Früher behandelte man die Schneide als gerade Linie, aber Laplace zeigte schon, daß die Schneide eigentlich eine krumme Fläche sei, mit welcher sich das Pendel auf seiner ebenen Unterlage wälze. Daß diese Gestalt der Schneide überhaupt Einfluß auf die Schwingungsdauer habe, zeigte Bessel durch Versuche, indem er den Pendelfaden sich entweder auf einen horizontalen Cylinder wickeln ließ, oder ihn zwischen einer horizontalen Fläche einklemmte, oder ihn an einer Messerschneide schwingen ließ. Auch fand er, daß, wenn die krumme Fläche der Schneide einer Cylinderfläche angehörte von 0,1 Linie Halbmesser, die Länge des Pendels dadurch bei einer Elongation von 1°,25 um 0,1 Linie zunehmen mußte. Die wirkliche Gestalt dieser krummen Fläche läßt sich aber in jedem einzelnen Falle nicht bestimmen, deshalb läßt sich auch keine allgemeine Reductionsformel aufstellen. Haben beide Schneiden des Reversionspendels genau dieselbe Gestalt, so gleicht sich der Einfluß beider Krümmungen gegenseitig aus; da man aber von vornherein nicht feststellen kann, daß beide Krümmungen gleich sind, so muß man beide Messerschneiden so einrichten lassen, daß sie verwechselt werden können. Das Beste wird immer sein, die Messerschneide so sorgfältig als möglich arbeiten zu lassen. Bessel bediente sich einer Messerschneide, deren Breite erst 0,0216 Par. Linien und nach einer stärkeren Schärfung 0,0135 Par. Linien betrug, Biot und Arago bedienten sich Messerschneiden zu 0,0166 und 0,0023 Par. Linien Breite.

Bessel untersuchte auch den Einfluß, den Gestalt und Härte der Unterlagen ausüben, und fand, daß Platten von Achat, Stahl, Glas und Cylinder von Glas als Unterlage keinen Einfluß ausübten. Als er jedoch Platten von gehämmertem und mattgeschliffenem Messing anwandte, waren die Schwingungszeiten merklich kürzer. Die Schneide hatte dabei keinen Einschnitt gemacht, sondern nur eine schmale Fläche von nicht meßbarer Breite polirt.

Bessel stellte auch Versuche an über den Einfluß der anderen Aufhängungsarten und fand, daß die Klemme und der Abwickelungscylinder den Schwingungsmittelpunkt um einige Hundertel einer Linie zu tief geben.

Correction wegen der Erhebung über der Meeresfläche. Mit der Erhebung über der Meeresfläche nimmt die Intensität der Schwere ab. Da nun die Anziehung eines Ellipsoids stets so wirkt, als wenn seine Masse in seinem Mittelpunkte vereinigt wäre, so läßt sich für eine gegebene Höhe h die Intensität der Schwere g' leicht nach dem Gravitationsgesetz finden, wenn jene Intensität für die Meeresfläche g gegeben ist, und r den Erdradius bezeichnet. Es ist dann:

$$g : g' = (r + h)^2 : r^2, \text{ also:}$$

$$g = g' \left(\frac{r + h}{r}\right)^2 \text{ oder angenähert}$$

$$g = g' \left(1 + \frac{2h}{r}\right).$$

Ist nun t die Schwingungsdauer eines einfachen Pendels bei der Erhebung h über den Meeresspiegel, T aber die auf den Meeresspiegel reducirte Schwingungszeit, so ist:

$$45)\quad T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} = \pi \sqrt{\frac{l}{g'\left(1 + \frac{2h}{r}\right)}} = \pi \left(1 - \frac{h}{r}\right)\sqrt{\frac{l}{g'}} = t\left(1 - \frac{h}{r}\right).$$

Bezeichnet eben so l die Länge eines Secundenpendels bei der Erhebung h, und ist L die Länge des Secundenpendels für den Meeresspiegel, so ist:

$$46)\quad L = \frac{g}{\pi^2} = \frac{g\left(1 + \frac{2h}{r}\right)}{\pi^2} = l\left(1 + \frac{2h}{r}\right).$$

Befindet sich der Ort der Beobachtung auf einem Berge oder einer Hochebene, und will man den Einfluß der Bergesmasse auf den Gang des Pendels mit in Rechnung bringen, so erhält man nach Young folgende Reductionsformeln:

für Berge: $L = l\left(1 + 0{,}7 \,.\, \frac{2h}{r}\right)$; für Hochebenen $L = l\left(1 + 0{,}66 \,.\, \frac{2h}{r}\right)$.

B. Das Kegelpendel. Denken wir uns, die gerade Linie AB sei um A (s. umstehende Fig. I.) drehbar, in B aber befinde sich ein schwerer Punkt und AB sei so in Bewegung gesetzt, daß sich mit constanter Elongation BAC um die Verticallinie AC drehe, so haben wir ein einfaches Kegelpendel. Die Bewegung des Kegelpendels ist eine gleichförmige, und das Pendel wird vor dem Zurückfallen in die Verticale AC bewahrt durch die Centrifugalität. Es sei BE die

Centrifugalität des Punktes B, BF seine Schwerkraft; liegt nun die Mittelkraft BG beider Kräfte mit AB in gerader Linie, so wird der Winkel BAD weder vergrößert noch verkleinert werden, vielmehr wird sich AB in einem geraden Kegelmantel bewegen.

I.

Bewegt sich ein Körper, dessen Gewicht P ist, in einer Kreisperipherie zum Radius r mit der Winkelgeschwindigkeit γ, so ist bekanntlich seine Centrifugalität

$$\frac{P r \gamma^2}{g}$$

so daß hier g wieder die Intensität der Schwere bezeichnet. Ist in unserem Falle P auch das Gewicht des schweren Punktes B, $BA = l$, $\angle BAD = \alpha$, so ist $r = l \sin \alpha$; ist γ die Winkelgeschwindigkeit des Punktes B, so folgt:

$$BE = GF = \frac{P l \gamma^2 \sin \alpha}{g}$$

BF ist gleich P; soll nun GB mit BA eine Gerade bilden, so ist $\triangle GBF \infty \triangle BAD$ es ist $GF : BF = BD : AD$, also $\frac{P l \gamma^2 \sin \alpha}{g} : P = l \sin \alpha : l \cos \alpha$ oder

$$47) \quad \gamma = \sqrt{\frac{g}{l \cos \alpha}}.$$

Diese Formel zeigt, daß dasselbe Pendel eine um so größere Umdrehungsgeschwindigkeit hat, je größer der Elongationswinkel α ist, jedoch kann α nicht gleich 90° werden, weil dann $\gamma = \infty$ sein müßte. Zugleich zeigt diese Formel das merkwürdige Resultat, daß alle Kegelpendel von gleicher Kegelhöhe dieselbe Umdrehungsgeschwindigkeit haben. Theilt man mit γ in den Kreisumfang 2π, so erhält man die Umdrehungszeit:

$$48) \quad t = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos \alpha}{g}}.$$

Vergleichen wir diese Formel mit 6), so zeigt sich, daß die Umdrehungszeit eines einfachen Kegelpendels doppelt so groß ist, als die Schwingungszeit eines einfachen Kreispendels, dessen Länge gleich der Kegelhöhe des ersteren ist.

II.

Gewöhnlich wird das Kegelpendel so angewandt, daß an der Stelle des Punktes B eine schwere Kugel gesetzt wird; den Einfluß, den die feste Stange AB auf die Bewegung ausübt, übergeht man dann. Ohne die Verhältnisse des zusammengesetzten Kegelpendels hier weiter zu verfolgen, wollen wir noch den Fall betrachten, daß an den Endpunkten einer dünnen Stange BC (s. Fig. II.) schwere Kugeln angebracht sind, und daß diese Stange, indem sie sich um einen zwischen B und C liegenden Punkt A dreht, einen Doppelkegel um die Verticale AE beschreibt. Es sei das

Gewicht in B gleich P und das in C sei Q, ferner sei $AB = l$, $AC = l'$, $\sphericalangle BAE = \alpha$. Ist γ jetzt wieder die Winkelgeschwindigkeit der Pendeldrehung, so ist die Centrifugalität in B gleich $\frac{P\gamma^2 l \sin\alpha}{g}$, ihr statisches Moment in Bezug auf E gleich $\frac{P\gamma^2 l^2 \sin\alpha\cos\alpha}{g}$, eben so ist das statische Moment der Centrifugalität in C gleich $\frac{Q\gamma^2 l'^2 \sin\alpha\cos\alpha}{g}$; das statische Moment des Gewichtes in B ist $Pl\sin\alpha$, und das in C ist $Ql'\sin\alpha$, wobei nicht zu übersehen ist, daß die beiden letzten Momente entgegengesetzte Drehrichtungen haben. Da nun diese vier Momente unter sich im Gleichgewicht stehen müssen, so folgt

$$\frac{\gamma^2 (Pl^2 + Ql'^2)\sin\alpha\cos\alpha}{g} = (Pl - Ql')\sin\alpha, \text{ also}$$

$$49)\quad \gamma = \sqrt{\frac{g(Pl - Ql')}{(Pl^2 + Ql'^2)\cos\alpha}}, \text{ und}$$

$$50)\quad t = 2\pi\sqrt{\frac{(Pl^2 + Ql'^2)\cos\alpha}{g(Pl - Ql)}}.$$

Anwendung des Pendels.

A. **Anwendung zur Bestimmung der Schwere.** Das Pendel ist das sicherste Mittel zur Bestimmung der Intensität der Erdschwere. Die Größe g, d. i. die Länge, um welche die Geschwindigkeit eines im luftleeren Raume frei fallenden Körpers in der Secunde vermehrt wird, findet sich aus der Formel 9)

$$g = \frac{\pi^2 l}{t^2}.$$

Hierin bezeichnet l die Länge des einfachen Pendels, das in der Zeit t eine Schwingung vollendet. Kennt man also l und t, so kennt man auch g, und findet so auch nach 12) die Länge des einfachen Secundenpendels

$$L = \frac{g}{\pi^2}.$$

Es kommt Alles darauf an, l und t so genau als möglich zu bestimmen.

Um die Dauer einer Schwingung zu bestimmen, genügt die Beobachtung einer einzelnen Schwingung nicht, da theils die Zeitmeßinstrumente dazu nicht ausreichend sind, theils Anfang und Ende der einzelnen Schwingung nicht genau erkannt werden können. Vielmehr muß man eine recht große Zahl auf einander folgender Schwingungen und ihre gemeinschaftliche Dauer messen. Sollte dann auch in der Bestimmung des Anfanges und Endes oder durch den Chronometer selbst ein kleiner Fehler begangen sein, so würde derselbe durch die Anzahl der beobachteten Schwingungen getheilt werden und für die einzelne Schwingung fast ohne Einfluß sein. Die Anzahl der in der gemessenen Zeit vorgekommenen Schwingungen kann man nicht wohl durch directes Zählen finden wollen, da hierbei leicht Fehler vorkommen können, man könnte sich dabei einer mechanischen

Hülfe, etwa eines Selbstzählers bedienen. Die Anzahl der Schwingungen durch das Pendel selbst zählen zu lassen, indem man damit einen Zählapparat nach der Weise eines Uhrwerks verbindet, ist nicht rathsam, da durch die Uebertragung der Bewegung an den Zählapparat ein Einfluß auf die Pendelbewegung ausgeübt wird. Das zu beobachtende Pendel muß durchaus unabhängig schwingen. Das beste und für genaue Pendelbeobachtungen auch überall angewandte Verfahren besteht in der Methode der Coincidenzen, die von De Mairan zuerst angegeben ist. Man hängt das Pendel in einiger Entfernung vor einer Pendeluhr auf, deren Pendel nahezu gleiche Schwingungen macht als das zu beobachtende Pendel. In einer Entfernung von etwa 30 Fuß bringt man ein Fernrohr an, in welchem an der Stelle, in welcher der Brennpunkt des Objectivs sich befindet, ein verticaler Seidenfaden angebracht ist. Zugleich muß das Fernrohr so angebracht sein, daß beide Pendelstangen oder Pendelfäden im Ruhezustande sich unter einander und mit dem Faden im Fernrohr decken. Man kann auch an beiden Pendeln je eine helle Marke, etwa ein kleines weißes Papierscheibchen so anbringen, daß beide Marken in der Ruhelage der Pendel einander decken. Setzt man beide Pendel in Bewegung und beobachtet man sie durch das Fernrohr, so richte man seine Aufmerksamkeit vorzugsweise auf den Abstand der beiden Pendelmarken von einander in dem Momente, wenn das eine Pendel durch die Verticallinie geht. Da in der Regel beide Pendel nicht ganz gleiche Schwingungen machen, so wird die Aufeinanderfolge ihrer Durchgänge durch die Verticale nicht immer in gleichen Intervallen stattfinden, jener erwähnte Abstand der beiden Marken wird veränderlich sein, nämlich allmälig wachsen, ein Maximum erreichen, abnehmen und zuletzt verschwinden. Tritt dieser letzte Fall ein, so gehen beide Pendel in demselben Augenblick durch die Verticale. Diesen Vorgang nennt man eine Coincidenz und von einem solchen Augenblick beginnt man die Zählung der Pendelschwingungen, indem man sich den Stand der Uhr notirt. Achtet man nun weiter auf die Pendelmarken, so werden sie nach einer Coincidenz wieder aus einander gehen; macht z. B. das Uhrpendel die langsameren Schwingungen, so wird die Marke des zu beobachtenden Pendels der anderen Marke voreilen, die Distanz beider Marken wird von Schwingung zu Schwingung größer werden und endlich ein Maximum erreichen. In diesem Augenblick hat dann das zu beobachtende Pendel eine halbe Schwingung mehr gemacht als das Uhrpendel. Darauf wird die Distanz der Marken wieder abnehmen, und bei der nächsten Coincidenz hat das zu beobachtende Pendel eine ganze Schwingung mehr gemacht als das Uhrpendel. Nach dieser zweiten Coincidenz entfernen sich die Marken wieder von einander, aber nach der anderen Seite hin, so daß erst bei der dritten Coincidenz genau das Verhältniß der Schwingungsrichtungen so ist, wie bei der ersten Coincidenz; das zu beobachtende Pendel hat aber nun zwei Schwingungen mehr gemacht, als das Uhrpendel. Man beobachte nun eine gerade Anzahl von Coincidenzen, etwa $2n$, und notire genau den Stand der Uhr im Augenblicke der letzten Coincidenz. Der Zeitunterschied T beider Notirungen ist die Dauer der ganzen Beobachtung; aus der Einrichtung der Uhr muß man unmittelbar finden können, wie viel Schwingungen das Uhrpendel gemacht hat. Ist diese Zahl N, so hat das zu beobachtende Pendel $N + 2n$ Schwingungen gemacht und die Zeitdauer einer einzelnen Schwingung wäre dann im Mittel $\frac{T}{N + 2n}$. Schwingt aber das zu

beobachtende Pendel langsamer als das Uhrpendel, so ist die Zahl seiner Schwingungen in der Zeit T nur N — 2 n, und die Dauer der einzelnen Schwingung ist $\frac{T}{N-2n}$.

Es versteht sich von selbst, daß man die Beobachtung erst mit einer solchen Coincidenz beginnt, bei welcher die Elongation des zu beobachtenden Pendels hinreichend klein geworden ist. Statt der Beobachtung durch ein Fernrohr hat man die Coincidenzen auch an den Schatten beobachtet, die beide Pendel an eine dahinter befindliche Wand werfen. Jedoch ist dieses Verfahren nicht so genau, als das oben beschriebene.

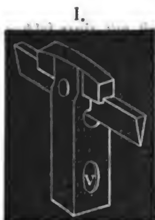
Die einzelnen Pendelarten, deren man sich bei den Versuchen bediente, sind nun folgende:

1) Das Fadenpendel. Es besteht im Wesentlichen aus einem Faden und einer daran hängenden Metallkugel. Schon Galilei und Huyghens bedienten sich bei ihren Versuchen solcher Pendel. Der Faden wurde von einer Aloe genommen, der Feinheit und Gleichförmigkeit wegen. Bouguer und Condamine nahmen statt der Kugel zwei mit ihren Grundflächen vereinigte abgestumpfte Kegel. In größter Vollendung wurde dieses Pendel von de Borda ausgeführt, so daß es meist nach ihm auch benannt wird. Es besteht aus einer genau abgedrehten Platinkugel (s. beistehende Figur). Auf die Kugel paßt eine Kappe, welche genau nach demselben Halbmesser gearbeitet ist, so daß die Adhärenz beider etwas mit Fett bestrichenen Flächen die Kugel trägt. Der dünne silberne Aufhängungsdraht ist etwa 12 Fuß lang, geht durch die Mitte des Stiels der Kappe und ist zwischen den beiden Stücken, aus denen dieser Stiel besteht, befestigt. Sein oberes Ende ist in ähnlicher Art befestigt. Dieses zweite Stück, welches das obere Ende des Drahtes trägt, ist an einem stählernen Cylinder befestigt, der senkrecht durch die aus Stahl verfertigte, ziemlich scharfe Messerschneide geht, die wieder auf Achatplatten ruht, deren horizontale Lage genau nivellirt wurde. Die Messerschneide trägt an dem stählernen Cylinder noch ein Gegengewicht als Schraube, mittelst welcher der ganze Aufhängeapparat so regulirt werden kann, daß er mit dem Pendel isochronisch oscillirt. Um nun die Länge des Pendels zu finden, bedient man sich einer polirten Stahlplatte, welche man sehr genau und fest unter der Kugel des Pendels anbringt. Man erhebt sie allmälig höher und höher mit Hülfe einer Schraube, so aber, daß sie fortwährend in horizontaler Lage bleibt. Man erhebt sie so weit, bis die Kugel bei den Schwingungen des Pendels leicht an die Platte anstreicht. Nun hebt man das Pendel ab und bringt an seine Stelle einen Maßstab, welcher auf den Platten, auf denen das Pendel ruhte, mit einer Messerschneide aufliegt, die der des Pendels völlig ähnlich ist. (S. umstehende Fig. I.) Dieser Maßstab ist in Fig. II. vorn und in Fig. III. S. 180 von der Seite abgebildet. Man sieht eine Zunge l, welche vor- oder zurücktritt durch Bewegung der Schraube v. Sobald der Maßstab an



die Stelle des Pendels aufgehängt worden, läßt man mit Hülfe der Schraube v die Zunge l weiter und weiter mit der größten Vorsicht vortreten, und indem man den Maßstab wie vorher das Pendel schwingen läßt, beobachtet man den Augenblick, wo die Zunge mit ihrem Ende eben so leicht an die Platte anstreift, wie vorher die Kugel. Durch die jetzt auf dem Maßstab abzulesende Länge bestimmt sich die Länge des Pendels von der Messerschneide bis zum tiefsten Punkte der Kugel. Mit einem solchen Pendel fand de Borda die Länge des einfachen Secundenpendels zu Paris = 0,993856463 Meter.

I.



II. III.





2) Das Differenz-Pendel. Hatton gab zuerst die Idee an, mehrere der bei Pendelbeobachtungen nothwendigen Correctionen dadurch zu vermeiden, daß nur der Längenunterschied zweier ungleich langer Pendel gemessen würde, und aus ihm und den Schwingungszeiten beider Pendel die Schwingungszeit eines jenem Unterschiede an Länge gleichen Pendels zu berechnen. In neuerer Zeit hat Bessel in seinen Untersuchungen über die Länge des einfachen Secundenpendels von dieser Idee selbstständig Gebrauch gemacht.

3) Das unveränderliche Pendel. Unter einem unveränderlichen Pendel versteht man ein Pendel von beliebigen, aber festen Verhältnissen, mit welchem man an verschiedenen Punkten der Erde Beobachtungen anstellt; aus den beobachteten Schwingungszeiten folgt dann die relative Länge der einzelnen einfachen Secundenpendel. Kennt man nun von nur einem Beobachtungsorte die absolute Länge des Secundenpendels, so folgt daraus leicht die absolute Länge der Secundenpendel der übrigen Beobachtungsorte. Die unveränderlichen Pendel sind besonders bequem für Pendelbeobachtungen, die man auf Reisen vornehmen will, weil man bei ihnen der wiederholten und mühseligen Messung der Pendellänge überhoben ist. Es versteht sich von selbst, daß man auch das Fadenpendel als unveränderliches Pendel benutzen kann, bequemer für den Transport und den Gebrauch ist aber ein Stangenpendel. Dasselbe besteht dann aus einer gewöhnlich stählernen Stange mit einer Metalllinse und einer Messerschneide; dazu gehört dann noch ein geeignetes Stativ zum Aufhängen des Pendels.

4) Das Reversionspendel ist nur eine besondere Art des unveränderlichen Pendels. Es hat, wie schon oben angeführt, eine zweite Messerschneide, die durch den Punkt geht, der Schwingungsmittelpunkt in Bezug auf die erste Messerschneide ist. Die Schwingungen für beide Messerschneiden sind gleichzeitig, und die Entfernung beider Messerschneiden von einander giebt zugleich die Länge des entsprechenden einfachen Pendels an. Ist ein solches Pendel einmal construirt, so läßt es sich bequem als Reisependel benutzen, und mit ihm kann man

nicht blos die relative, sondern direct die absolute Länge des einfachen Secundenpendels bestimmen. Das Reversionspendel wurde zuerst von **Kater** hergestellt, dann von **Sabine** und vom Capitän **Lütke** bei ihren Beobachtungen benutzt. Ein Reversionspendel läßt sich leicht herstellen, wenn man an einer gleichmäßig starken prismatischen Stange zwei Messerschneiden anbringt, deren Schärfen parallel und einander zugekehrt sind und eine solche Entfernung von einander haben, die etwa der Länge des einfachen Pendels entspricht, welches gleiche Schwingungen mit dem an der ersten Schneide aufgehängten Pendel macht. Dann bringe man an das eine Ende der Stange ein verschiebbares Gegengewicht an, das sich nun allmälig in die Lage bringen läßt, in welcher das Pendel auf beiden Messerschneiden übereinstimmende Schwingungen macht. Von dem **Kater**'schen Reversionspendel giebt **Muncke** folgende Beschreibung: Es besteht aus einer Messingstange a b (s. beistehende Figur), in welcher zwei Messerschneiden α, β in einem Abstande von 39,4 englischen Zollen angebracht sind. Ueber denselben befinden sich an jedem Ende zwei messingene Platten, m n, m' n' 6 Zoll lang, angeschraubt, zwischen denen die Messingstange noch zwei Zoll hervorragt; in den Raum der übrigen 4 Zolle sind zwei 17 Zoll lange hölzerne Stäbe g h, g' h' befestigt, an deren Enden feine Fischbeinstäbchen l und l' hervorragen. Das messingene Gewicht p, ein Cylinder von 3,5 Zoll Durchmesser, 1,25 Zoll Höhe und 2 Pfund 7 Unzen Gewicht, ist auf die Stange geschoben und durch einen conischen Stift unbeweglich festgesteckt. Noch zwei andere kleine Gewichte v und w sind auf der Stange beweglich, und durch eine Oeffnung des größeren kann die Eintheilung auf dem Stabe abgelesen werden, um seine Entfernung von der Mitte genau zu bestimmen. Die Messerschneiden ruhen während der Dauer der Beobachtung auf Achatplatten, außer dieser Zeit aber auf Unterlagen von Glockenmetall.

In nachfolgender Tabelle hat **Muncke** alle ihm bekannt gewordenen Bestimmungen der Länge des einfachen Secundenpendels an verschiedenen Orten zusammengestellt.

Beobachter	Orte	Breitengrade	Pendellängen in Millim.
Freycinet	Malvinen	51° 35′ 18″	994,0657
Duperrey	—	51 31 44	994,1295
Fallows	Cap d. guten Hoffnung	33 55 56	992,5887
Freycinet	—	33 55 15	992,5677
Freycinet	Port Jackson . . .	38 51 34	992,6260
Duperrey	Port Jackson . . .	33 51 34	992,5879
Brisbane	Paramatta	33 48 43	992,5590
Dunlop	Paramatta	33 48 43	992,5730
Luetke	Valparaiso	33 2 30	992,5178
Freycinet	Rio de Janeiro . . .	22 55 13	991,6956
Foster	Rio de Janeiro . . .	22 55 22	991,7137
Basil Hall	Rio de Janeiro . . .	22 55 22	991,7170

Beobachter	Orte	Breitengrade			Pendellängen in Millim.
Düperrey	Isle de France	20°	9'	40''	991,7707
Luetke	St. Helena	15	54	59	991,6035
Sabine	Bahia	12	59	21	991,2203
Sabine	Ascension	7	55	48	991,1948
Düperrey	—	7	55	9	991,1824
Sabine	Maranham	2	31	43	990,8975
Freycinet	Rawack	0	1	34	990,9466
Sabine	St. Thomas	6	24	21	991,1109
Basil Hall	Gallopagos Inseln	0	32	19	991,0403
Luetke	Ualan	5	21	16	991,3043
Sabine	Sierra-Leone	8	29	28	991,1073
Sabine	Trinidad	10	38	56	991,0609
Goldingham	Madras	13	4	9	991,2723
Luetke	Guahan	13	26	21	991,4277
Freycinet	Guam. Inseln	13	27	51	991,4520
Sabine	Jamaica	17	56	7	991,4725
Freycinet	Mowi	20	52	7	991,7850
Basil Hall	San Blas	21	32	24	991,5633
Foster	San Blas	21	32	24	991,5903
Luetke	Boni	27	4	12	992,3773
Biot	Lipari	38	28	37	993,0792
Biot	Formentera	38	39	56	993,0697
Sabine	New-York	40	42	43	993,1586
Biot	Barcellona	41	23	15	993,2321
Düperrey	Toulon	43	7	20	993,3652
Biot, Matthieu	Figeac	44	36	45	993,4578
Biot, Matthieu	Bordeaux	44	50	26	993,4529
Biot	Fiume	45	19	0	993,5841
Biot	Padua	45	24	3	993,6073
Biot	Mailand	45	28	1	993,5476
Biot, Matthieu	Clermont Fer.	45	46	48	993,5823
Borda, Cassini	Paris	48	50	14	993,8462
Biot, Bouward	—	—	—	—	993,8668
Sabine, Kater	—	—	—	—	993,8606
Kater	Schanklin-Farm	50	37	24	994,0470
Biot, Matthieu	Dünkirchen	51	2	10	994,0804
Kater	London	51	31	8	994,1234
Kater	Arbury-Hill	52	16	55	994,2275
Luetke	St. Peter und Paul	53	0	53	994,3734
Kater	Clifton	53	27	43	994,3016
Schumacher	Altona	53	32	45	994,3520
Bessel	Königsberg	54	42	50	994,4099
Kater	Forth-Leith	55	58	37	994,5352
Biot	—	—	—	—	994,5310
Luetke	Sitka	57	2	58	994,6200
Kater	Portsey	57	40	59	994,6906
Svanberg, Cronstrand	Stockholm	59	20	43	994,8059
Luetke	Petersburg	59	56	21	994,9100
Sabine	Brassa	60	9	42	994,9985
Kater	Unst	60	45	25	994,9384
Biot	—	—	—	—	994,9457
Sabine	Drontheim	63	25	54	995,0132
Sabine	Hare-Island	70	26	17	995,6370

Beobachter	Orte	Breitengrade	Pendellängen in Millim.
Sabine	Hammerfest	70 40 5	995,5312
Foster	Port-Bowen . . .	73 13 39	995,7724
Sabine	Grönland	74 32 19	994,7465
Sabine	Melville	74 47 12	995,8560
Sabine	Spitzbergen	79 49 58	996,0359

Behandelt man die Erde als ein Ellipsoid, so steht fest, daß die Zunahme der Intensität der Schwere vom Aequator nach den Polen zu proportional ist mit dem Quadrat der geographischen Breite. Da nun die Länge des einfachen Secundenpendels mit dieser Intensität proportional ist, so müßte sich eine Formel aufstellen lassen, die die Länge des einfachen Secundenpendels unter der Breite α als Funktion dieser Breite angäbe. Ist l die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Aequator, so hat jene Formel folgende Gestalt

$$L = l + x \sin \alpha^2.$$

Der Werth des Factors x müßte durch Beobachtungen gefunden werden. Die verschiedenen Beobachtungen liefern aber nicht immer für x und l den gleichen Werth, was wohl daher kommt, daß der Erdkörper nicht streng als ein Ellipsoid angesehen werden kann. Sabine fand übrigens aus seinen vielen Messungen, daß für englisches Maß und die Reduction auf den leeren Raum und den Meeresspiegel l = 39,01520 Zoll und x = 0,20245 Zoll beträgt. Auf altfranzösisches Maß reducirt ist l = 439,2984 Linien und x = 2,27952 Linien.

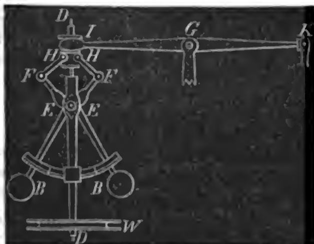
5) Uhrpendel. Die häufigste Anwendung wird von dem Pendel gemacht zur Regulirung des Ganges der Uhren. Die Pendel sorgfältig gearbeiteter Uhren werden in der Regel an Uhrfedern, also an schmalen Stahlstreifen aufgehangen, deren oberes Ende eingeklemmt wird und deren unteres Ende fest mit der Pendelstange verbunden ist. Die Erfahrung hat gezeigt, daß diese Aufhängungsart der Messerschneide vorzuziehen ist, weil vielleicht in Folge der elastischen Krümmungen der Stahlfeder der Schwingungsmittelpunkt nicht genau einen Kreisbogen beschreibt, sondern einen Bogen, der sich dem Cycloidenbogen nähert. Dies Uhrpendel erhält bei jeder Schwingung von der Triebkraft der Uhr einen kleinen Anstoß, durch den es die jedesmaligen Hindernisse des Luftwiderstandes und der unvollkommenen Elasticität der Stahlfeder überwindet; ist nun dieser Anstoß immer gleich stark, so wird auch das Pendel immer gleich weite Schwingungen machen, und es wird deshalb nicht nöthig sein, die Correctionen wegen des Luftwiderstandes und der Aufhängungsart anzubringen. Daß aber jener Anstoß immer in gleicher Intensität erfolgt, ist Aufgabe der Uhrconstruction, kleine Verschiedenheiten lassen sich dadurch ausgleichen, daß man die Pendellinse recht schwer, ihre Beweglichkeit aber recht empfindlich macht.

Den bedeutendsten Einfluß auf den Gang der Uhrpendel hat die Wärme, indem durch sie die Pendellänge verändert wird. Die Methoden nun, Pendel herzustellen, die bei verschiedenen Temperaturen dennoch gleich lange Schwingungszeiten haben, sind schon früher behandelt, können also hier übergangen werden. (S. d. Art. Compensation.)

Um ein gegebenes Pendel so einzurichten, daß es genau Secunden angiebt,

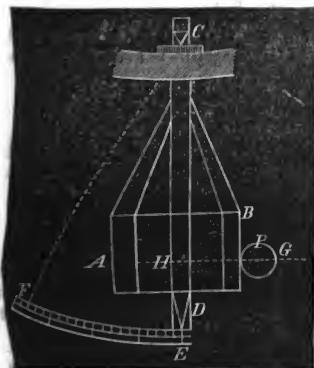
oder Theile von Secunden, muß die Linse beweglich sein; sie ruht gewöhnlich auf einer Scheibe, bei deren Drehung die Linse sich um ein Geringes hebt oder senkt. Noch bequemer ist es, an der Pendelstange ein kleines bewegliches Gewicht anzubringen, das durch eine Klemmschraube fixirt werden kann. Durch Verschiebung dieses Gewichtes kann man die Schwingungszeit des Pendels genau reguliren.

6) Centrifugalregulator. Der Centrifugalregulator ist eine Anwendung des Centrifugalpendels und dient dazu, den Gang einer Dampfmaschine zu reguliren. Seine gewöhnliche Einrichtung ist durch beistehende Figur dargestellt. Er besteht gewöhnlich aus einem doppelten Centrifugalpendel, das durch die beiden in E sich kreuzenden und in je einem Endpunkt mit einer schweren Kugel B versehenen Arme FB gebildet wird. Beide Arme können sich in E in einer Verticalebene drehen; der Drehpunkt E befindet sich aber an der verticalen Welle DD, die mit der Dampfmaschine in Verbindung steht und von ihr aus ihre rotirende Bewegung erhält. In Folge der Centrifugalität der Kugel B öffnen sich die beiden Arme und nehmen eine Stellung ein, die der Umdrehungsgeschwindigkeit entspricht, und zwar in der Art, daß bei zunehmender Geschwindigkeit die Kugel B sich noch mehr heben, bei abnehmender Umdrehungsgeschwindigkeit aber sich senken wird. Mit den oberen Endpunkten F der Arme sind nun die Schienen FH, die wieder mit der auf DD verschiebbaren Hülse H in Verbindung stehen, verbunden. Wenn also die Umdrehungsgeschwindigkeit der Welle DD zunimmt, wird die Hülse H sich senken, im anderen Falle hebt sie sich. Durch den um G drehbaren Hebel IK wird die Bewegung in leicht erkennbarer Weise fortgeleitet. Soll die auf- und abgehende Bewegung der Hülse H in horizontaler Richtung fortgepflanzt werden, so bringt man anstatt des geradlinig gezeichneten Hebels IK einen Winkelhebel an. Die weitere Einrichtung des Regulators kann nun verschieden sein. Meist steht das von K ausgehende Gestänge mit einem Drosselventil des Dampfzuführungsrohres in Verbindung. Bewegt sich nun die Maschine zu schnell, so wird auch die Welle DD eine größere Umdrehungsgeschwindigkeit angenommen haben, die Kugeln B werden sich über ihren mittleren Stand heben, die Hülse H wird sich senken, und durch die von K ausgehende Stange wird das Drosselventil so gestellt werden, daß die Dampfzuführung dadurch gemäßigt wird. Geht dann später die Maschine wieder zu langsam, so tritt der entgegengesetzte Vorgang ein, die Kugeln B senken sich, die Hülse H steigt, und die von K ausgehende Stange öffnet das Drosselventil weiter, es strömt dann wieder mehr Dampf zur Maschine, um die Bewegung zu beschleunigen. Bei Dampfmaschinen mit veränderlicher Expansion ist diese oft mit dem Centrifugalapparat in Verbindung gebracht, und wird durch ihn regulirt.



7) Ballistisches Pendel. Beim ballistischen Pendel werden die Gesetze des Stoßes und der Pendelbewegung angewendet, um die Geschwindigkeit abgeschossener Kugeln zu bestimmen. Es besteht aus einer schweren Masse

ist in beistehender Figur, die gewöhnlich aus einem hölzernen, mit Thon gefüllten Kasten gebildet wird, der um eine horizontale Axe C pendelartig schwingen kann und mit derselben in geeigneter Weise verbunden ist. Gegen den Kasten wird, wenn er in Ruhe hängt, eine Kanonenkugel geschossen, dabei muß aber der Kasten A B so groß sein, daß die in ihn eingedrungene Kugel in ihm stecken bleibt. Durch den Stoß wird das Pendel in Bewegung gesetzt, und aus der Größe des ersten Ausschlagswinkels und aus den Größen- und Gewichtsverhältnissen des Pendels und der Kugel läßt sich die ursprüngliche Geschwindigkeit der Kugel berechnen. Um den Ausschlagswinkel F C D zu messen, trägt der Kasten A B in der Verlängerung seiner Schwerlinie eine Spitze D, die an einem Gradbogen D F sich hinbewegt, an welchem man den Ausschlagswinkel abliest.



Es sei M die Masse des Pendels, T sein Trägheitsmoment, a der Abstand seines Schwerpunkts von der Axe C. Es sei ferner M′ die Masse der geschossenen Kugel G, c ihre Geschwindigkeit, b der senkrechte Abstand C H der Schußrichtung G H von der Drehaxe C. Reduciren wir die Masse des Pendels M auf den Punkt H in der Schußrichtung, so erhalten wir für die reducirte Masse:

$$\frac{T}{b^2}.$$

Wird diese Masse von der Kugelmasse M′ mit der Geschwindigkeit c gestoßen, so haben beide Körper in der Linie G H nach dem Stoß die Geschwindigkeit:

$$\frac{M'c}{\frac{T}{b^2} + M'} = \frac{M'b^2c}{T + M'b^2},$$ da der Stoß ein unelastischer ist;

also nimmt das Pendel im Augenblick des Stoßes die Winkelgeschwindigkeit

$$\gamma = \frac{M'bc}{T + M'b^2}$$

an. Nun sei $\angle FCD = \alpha$ der Ausschlagswinkel, den das Pendel nach dem Stoß annimmt und l sei die Länge des einfachen Pendels, das isochrone Schwingungen bildet mit dem ballistischen Pendel, wenn die Kugel in demselben steckt. Dieses Pendel hat bei der Elongation α eine Bogenhöhe $h = l\,(1 - \cos\alpha) = 2\,l \sin\frac{1}{2}\,\alpha^2$, also im tiefsten Punkte eine Geschwindigkeit $\sqrt{2g\,.\,h} = 2 \sin\frac{1}{2}\,\alpha\,\sqrt{gl}$, also beim Durchgange durch die Verticale eine Winkelgeschwindigkeit

$$2 \sin\frac{1}{2}\,\alpha \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

Dieser Werth muß der oben entwickelten Winkelgeschwindigkeit γ gleich sein.

Aus der Gleichung beider Werthe folgt nun

$$c = 2 \frac{T + M'b^2}{M'b} \sin \frac{1}{2} \alpha \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

Die Länge l kann man leicht durch Versuche finden, indem man das Pendel nach dem Schuß schwingen läßt und seine Schwingungszeit t beobachtet. Dann findet man leicht

$$l = \frac{g t^2}{\pi^2}.$$

Aber auch durch Rechnung läßt sich l leicht finden. Bedenkt man, daß $T + M'b^2$ das Trägheitsmoment des Pendels nach dem Schuß ist, $Ma + M'b$ aber sein statisches Moment nach dem Schuß, so folgt unmittelbar

$$l = \frac{T + M'b^2}{Ma + M'b}.$$

Auch das Trägheitsmoment T des Pendels vor dem Schuß läßt sich leicht durch Versuche bestimmen. Man läßt dieses Pendel, ehe die Kugel in demselben ist, schwingen und beobachtet seine Schwingungszeit t_1, so folgt die Länge des mit ihm isochronen einfachen Pendels $l_1 = \frac{g t_1^2}{\pi^2}$, da diese aber auch gleich $\frac{T}{Ma}$ sein muß, so folgt:

$$T = \frac{M a g t_1^2}{\pi^2}.$$

B. Anwendung des Pendels zum Beweis für die Axendrehung der Erde. Im Jahre 1851 gelang es dem französischen Physiker Leon Foucault zuerst, an einem ganz frei schwingenden Pendel Erscheinungen nachzuweisen, die nur in der Axendrehung der Erde ihren Grund haben, und somit als Beweis für das wirkliche Vorhandensein der letzteren gebraucht werden können.

Denkt man sich ein möglichst langes Pendel so in einem Punkt aufgehangen, daß es gleich frei nach allen Richtungen hin schwingen kann, und man versetzt es so in Schwingungen, daß dieselben genau in einer Ebene, also in einer Verticalebene erfolgen, so besitzt diese Ebene gegen den Erdkörper eine gewisse Selbstständigkeit. Da die Schwingungen des Pendels nur durch die Schwere hervorgebracht werden, so wird die Schwingungsebene stets durch die vom Aufhängungspunkte gezogene Verticallinie gehen müssen, und wenn diese Verticallinie in Folge der Axendrehung der Erde ihre absolute Lage ändert, so wird dadurch nur insofern auf die Schwingungsebene ein Einfluß ausgeübt, als die letztere fortwährend auch durch die in ihrer Lage geänderte Verticallinie gehen muß. Eine gerade Linie bestimmt aber die Lage einer Ebene nicht vollständig, und deshalb kann auch die Schwere ein freies Pendel nicht zwingen, mit seiner Schwingungsebene stets dieselbe Lage zum Horizonte einzunehmen. Der zweite Factor, der die Schwingungsebene eines einfachen Pendels bestimmt, ist die Bewegungsrichtung im tiefsten Punkte des Bogens, d. i. sein Beharrungsvermögen, und da die Richtung dieser Bewegung unabhängig ist von der Axendrehung der Erde, so hat das Pendel das

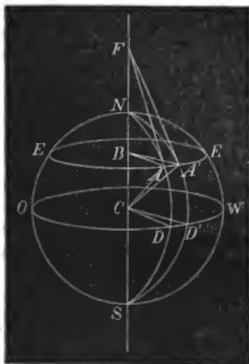
Bestreben, seine ursprüngliche Bewegungsrichtung so weit beizubehalten, als sie sich nicht durch die veränderte Richtung der Schwere abändern muß. Fassen wir also die absolute Lage der Schwingungsebene ins Auge, d. h. so wie sie auf den Weltenraum bezogen erscheint, so sind zunächst zwei Fälle zu unterscheiden: a) die absolute Richtung der Schwere ändert sich durch die Axendrehung der Erde nicht; b) sie ändert sich. Der erste Fall findet genau nur auf den beiden Erdpolen statt, da hier die Richtung der Schwere mit der unveränderlichen Axenrichtung übereinstimmt; der zweite Fall findet auf allen anderen Punkten der Erde statt, da die Richtung der Schwere hier entweder mit der Axe einen rechten Winkel, wie unter dem Aequator, oder einen schiefen, wie unter den Parallelkreisen, bildet, die Verticallinie solcher Oerter also bei der Umdrehung der Erde entweder eine Ebene (auf dem Aequator) oder einen geraden Kegelmantel (unter den Parallelkreisen) beschreibt. Im ersten Falle, also auf den Erdpolen, wird die Schwingungsebene absolut unveränderlich sein, es wird für sie ganz gleichgültig sein, ob sich die Erde unter ihr dreht oder nicht; ist die Schwingung des Pendels ursprünglich so gerichtet, daß sie auf einen bestimmten Punkt des Weltraums, z. B. auf einen Fixstern hinweist, so wird sie fortwährend auf diesen Stern hinweisen. Im zweiten Falle, also an allen übrigen Punkten der Erde, wird die absolute Lage der Schwingungsebene von der fortwährenden Aenderung in der absoluten Lage der Verticallinie afficirt, so daß eine Drehung dieser Ebene eintritt, die um so unbedeutender ist, je näher man sich an einem Pole befindet, nach dem Aequator zu aber immer mehr zunimmt, so daß sie hier binnen 24 Stunden eine Drehung vollendet, also mit der Erdumdrehung periodisch ist; zwischen dem Pol und dem Aequator steht die Veränderung der absoluten Lage der Schwingungsebene nicht mit der Periode der Erdumdrehung im einfachen Zusammenhange, sondern ihre Bewegung ist nicht als einfache Drehung um eine feste Axe anzusehen, sondern als eine zusammengesetzte Drehung, als eine Drehung nämlich um eine veränderliche Axe.

Das Gesetz dieser Drehung ließe sich theoretisch weiter verfolgen, es tritt aber nicht unmittelbar zur Anschauung heraus; was wir aber unmittelbar an dem Pendel beobachten können, ist die Beziehung der Schwingungsebene des Pendels zum Horizont, also zu einer (mit Ausnahme der Pole) selbst bewegten Ebene. Da die Richtung der Schwere auf den Horizont bezogen eine unveränderliche Lage hat (sie steht stets senkrecht auf ihr), so würde auch die Pendelebene eine unveränderliche relative Lage behalten, wenn nur die Horizontebene sich nicht selbst drehte, also die Richtung der Weltgegenden nicht einer fortwährenden Drehung unterworfen wäre, so daß die Pendelebene, die von dieser Drehung unberührt bleibt, eine scheinbare Bewegung (Drehung) gegen die scheinbar unveränderlichen Weltgegenden annimmt. Diese scheinbare Drehung der Pendelebene von Norden nach Osten (also rechts herum) ist das hier abzuhandelnde Phänomen, dessen Entdeckung das Verdienst Foucault's ist.

Daß der Horizont, mit Ausnahme des Aequatorialhorizonts, sich stets dreht, springt nicht sogleich in die Augen. Daß der Polhorizont sich dreht, da er senkrecht zur Erdaxe steht, ist einleuchtend, und zwar macht er in 24 Stunden eine Umdrehung, eine beliebig auf ihm gezogene Linie nimmt während 24 Stunden alle in der Ebene möglichen Lagen ein. Denken wir uns nun ein freies Pendel auf dem Pole schwingen, so wird es an dieser Drehung des Horizonts keinen Theil nehmen, es wird in seiner Schwingungsebene beharren, während sich unter

ihm Alles in 24 Stunden umdreht; da aber der Horizont für den Polbeobachter zu ruhen scheint, so wird im Gegensatz die Pendelebene sich zu drehen scheinen und zwar so, daß sie in 24 Stunden eine volle Umdrehung machen könnte. Der Aequatorialhorizont muß sich zwar mit seinem Centrum um die Erdaxe wälzend bewegen, aber seine Weltgegenden erleiden keine Drehung. Die Nordlinie läuft mit der Erdaxe parallel, ihre Richtung ist also absolut unveränderlich, die Ostwestlinie steht senkrecht zur Nordlinie, ist also auch relativ unveränderlich.

Hieraus folgt nun weiter, daß die Schwingungsebene eines auf dem Aequator schwingenden freien Pendels relativ unveränderlich ist, sie wird keinerlei Drehung gegen den Horizont zeigen. Man erkennt, wie die oben entwickelte absolute Umdrehung der Pendelebene auf dem Aequator mit der absoluten Umwälzung der Horizontebene um die Erdaxe sich so ausgleicht, daß scheinbar die Pendelebene gar keine Drehung macht. Was nun einen Horizont zwischen Pol und Aequator, also in mittlerer Breite betrifft, so kann hier die Nordlinie schon deshalb keine unveränderliche Richtung haben, weil sie nicht der Erdaxe parallel ist, welche die einzige unveränderliche Richtung hat, die an der Erde vorkommt, vielmehr schneidet die verlängerte Nordlinie die verlängerte Erdaxe in einem Punkte, um welchen sie sich bei der Rotation der Erde dreht, so daß sie einen Kegelmantel bildet, der zugleich als Maß der Drehung der Nordlinie dient. Mit der Drehung der Nordlinie ist aber zugleich die Drehung der Ostwestlinie gegeben, da sie auf jener senkrecht steht. Jene Drehung der Nordlinie unter mittleren Breiten läßt sich unmittelbar wahrnehmen. Man fixire in der Nacht einen Fixstern, der am Horizonte in der Nähe des Nordpunktes steht. Der Fixstern kann als ein unveränderlicher Punkt im Weltenraum gelten; wäre nun die Nordlinie unveränderlich, so müßte sie fortwährend auf diesen Stern zeigen, das geschieht aber nicht; der Fixstern weicht scheinbar nach Osten aus, also weicht der Nordpunkt des Horizonts wirklich nach Westen aus, und der ganze Horizont nimmt mit ihm eine Linksdrehung an.



Es stelle N O S W in nebenstehender Figur die Erdkugel vor, NS sei die Axe, OW der Aequator, C der Mittelpunkt, A ein Ort auf dem Parallelkreis E E, dessen geographische Breite durch den Winkel ACD $= \alpha$ gemessen werde und dessen Mittelpunkt B sei. N A D S ist dann der Meridian des Ortes A, die Tangente des Meridians in A ist die Nordlinie des Horizonts, diese Linie schneide die Erdaxe in F. Dreht sich die Erde etwas, so daß A nach A′ kommt, dann ist die Nordlinie des Horizonts aus der Lage AF in die Lage A′F übergegangen, sie hat sich also um den Winkel AFA′ gedreht, wenn die Erde sich um den Winkel DCD′ = ABA′ gedreht hat. Nun ist AB = AC cos α, AF = AC cot α. Ist AA′ eine sehr kleine Linie und setzt man ABA′ $= \beta$ und AFA′ $= \gamma$, so ist

$AA' = BA . \beta = AC . \beta . \cos\alpha$ und auch $AA' = AF . \gamma = AC . \gamma . \cot\alpha$, folglich ist $AC . \beta \cos\alpha = AC . \gamma \cot\alpha$ oder $\gamma = \beta . \sin\alpha$

d. h. **die Drehung der Nordlinie irgend eines Horizonts ist gleich der gleichzeitigen Axendrehung der Erde multiplicirt mit dem Sinus der geographischen Breite.** Diese Drehung ist für die nördliche Halbkugel der Erde eine Linksdrehung und da durch sie erst die scheinbare Drehung der Pendelebene hervorgebracht wird, so beträgt diese stets so viel als die gleichzeitige Axendrehung der Erde angiebt, multiplicirt mit dem Sinus der Breite, und zwar ist diese Drehung für die nördliche Halbkugel der Erde eine Rechtsdrehung (über Nord nach Ost), für die südliche Halbkugel muß diese Drehungsrichtung umgekehrt sein.

Aus unserer Entwickelung folgt nun unmittelbar, daß die besondere Richtung, in der das Pendel schwingt, ohne Einfluß auf die Größe der Drehung der Schwingungsebene ist, und es ist die Thatsache festzuhalten, daß in dieser relativen Drehung der Schwingungsebene nicht die oben erwähnte absolute Drehung derselben in die Erscheinung tritt, sondern lediglich die Drehung des Horizonts. Die Drehung des Horizonts würde aber nicht eintreten, wenn nicht die Erde selbst sich drehte, deshalb liegt in der beobachteten Drehung der Schwingungsebene eines freien Pendels ein so schöner Beweis für die Axendrehung der Erde.

Die Größe der Abweichung, die man bei einem Versuche an einem bestimmten Orte erwarten kann, läßt sich nun nach der obigen Formel leicht berechnen. Dreht sich die Erde in 24 Stunden (Sternenzeit) einmal um ihre Axe, so kommt auf die Zeitminute 15' Winkeldrehung, oder da die Umdrehungszeit der Erde nach mittlerer Zeit nur $23^h\ 56'\ 4'',09$ beträgt, so kommt auf 1 Minute mittlere Zeit 15',041 Winkelbewegung in der Erddrehung. Diese Größe muß dann mit dem Sinus der geographischen Breite multiplicirt werden, ist diese z. B. 51°, so ist der Factor 0,77715, also folgt für die Abweichung der Pendelebene in jeder Minute 11',689. Eine volle Umdrehung der Pendelebene unter 51° Br. würde also eintreten in $\frac{360 . 60}{11,689}$ Zeitminuten oder in $30^h\ 47'\ 52''$.

Foucault wurde zu seiner Entdeckung durch einen Versuch geführt, der leicht zu wiederholen ist *). An der Axe einer Drehbank und in der Richtung derselben befestige man einen runden biegsamen Stahlstab, versetze ihn dann durch Ablenkung aus seiner Gleichgewichtslage in Schwingung und überlasse ihn sich selbst. Die dadurch bedingte Schwingungsebene zeichnet sich vermöge des Verweilens der Gesichtseindrücke scharf im Raume ab, und wenn man nun die Axe der Drehbank in Bewegung setzt, sieht man, daß die Schwingungsebene nicht mit fortgeführt wird. — Ueber seine ersten Pendelversuche gab Foucault selbst in einem vor der Pariser Akademie gehaltenen Vortrage folgende Beschreibung.

„In den Scheitelpunkt des Kellergewölbes wurde ein starkes gußeisernes Stück eingelassen und dieses lieferte den Tragpunkt für den Aufhängefaden, der hervortrat mitten aus einer kleinen gehärteten Stahlmasse, deren freie Oberfläche vollkommen horizontal war. Dieser Faden bestand aus einem im Drahtzug stark gehärteten Stahldraht von 0,6 bis 1,1 Millimeter im Durchmesser. Er hatte

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 459.

eine Länge von 2 Metern und trug am unteren Ende eine abgedrehte und polirte Messingkugel, die überdies so gehämmert war, daß ihr Schwerpunkt mit ihrem Mittelpunkt zusammenfiel. Diese Kugel wog 5 Kilogramm, sie besaß eine spitze Verlängerung, welche die Fortsetzung des Aufhängefadens zu bilden schien.

Man beginnt den Versuch damit, daß man die Torsion des Drahtes und die drehenden Schwingungen der Kugel vernichtet. Um sie aus der Gleichgewichtslage abzulenken, schlingt man einen organischen Faden herum, dessen anderes Ende an einen festen Punkt in der Mauer, in geringer Höhe über dem Boden, geknüpft ist. Durch die Länge, die man diesem Faden giebt, kann man die Ablenkung und die Größe der Schwingungen nach Belieben einrichten. Gewöhnlich betrug bei meinen Versuchen der Schwingungsbogen anfangs 15 bis 20 Grad. Ehe man weiter geht, ist es nöthig, die Schwingungen, welche das Pendel noch unter der Abhängigkeit beider Fäden machen könnte, durch irgend ein Hinderniß, das man langsam fortzieht, zu entfernen. Sobald man es vollständig beruhigt hat, brennt man den Faden an irgend einem Punkte seiner Länge durch; er reißt, die um die Kugel gelegte Schleife fällt zu Boden, und das Pendel, alleinig von der Schwerkraft getrieben, setzt sich in Gang und macht eine lange Reihe von Schwingungen, deren Ebene sich bald merklich verschiebt."

Darauf wiederholte Foucault seine Pendelversuche im Meridiansaale der Sternwarte mit einem Pendel von 11 Meter Länge. Die langsameren und größeren Schwingungen dieses Pendels ließen schon nach zweimaliger Rückkehr zu dem Visirpunkte eine merkliche Abweichung nach der Linken (vorn) erkennen. Diese Versuche sind dann vielfach, fast in jeder größeren Stadt wiederholt, man stellt sie gern in hohen Räumen an, da sie um so leichter gelingen, je länger das Pendel ist. Was die Aufhängungsart des Pendels betrifft, so sind drei verschiedene Methoden zur Anwendung gekommen. Die einfachste und sicherste Methode wird immer die sein, die schon Foucault bei seinen ersten Versuchen anwandte, den Draht mit seinem oberen Ende in einen eisernen oder stählernen Körper einzuklemmen, dessen freie Fläche vollkommen eben und horizontal ist. Ist der Draht lang, so werden die Elongationswinkel immer nur gering bleiben, und hat man Stahldraht genommen, so braucht man nicht zu fürchten, daß die Festigkeit des Drahtes durch die Schwingungen leiden könnte. Die zweite Aufhängungsmethode ist die im Kugelscharnier. Das obere Ende des Drahtes ist mit einer kleinen Kugel fest verbunden, diese Kugel ruht in einer Hülse, die ein kugelsegmentartiges Lager hat von gleichem Halbmesser, in welches die Kugel genau eingeschliffen ist. Unten hat das Lager eine kreisrunde Oeffnung zum Durchlassen des Drahtes. Die dritte Methode besteht in der Anwendung der Aufhängungsart des Kompasses. Der Draht ist mit einer Messerschneide rechtwinklig verbunden, diese ruht auf einem Ringe, der selbst wieder auf einer Messerschneide ruht, welche rechtwinklig gegen jene gestellt ist. Diese Vorrichtung giebt zwar bei genauer Ausführung eine gute Aufhängung, indem das Pendel dann so schwingt, als wenn es nur in einem Punkte aufgehängt wäre, aber die Herstellung ist sehr mühsam, und eine geringe Ungenauigkeit kann wesentliche Störungen in der Drehung der Pendelebene hervorbringen. Die Schärfen beider Messerschneiden müssen nicht blos genau gerade sein, sie müssen auch in derselben Ebene liegen, und die zweite, welche auf festen Lagern ruht, muß genau horizontal liegen.

Die Kugel, welche man zur leichteren Ueberwindung des Luftwiderstandes gern recht schwer nimmt, bei langen Pendeln bis zu 60 Pfund, muß genau abgedreht sein und ihren Schwerpunkt in der Verticalaxe haben. Es ist nicht gut, eine kugelförmige Messinghülse mit Blei auszugießen, weil man auf diesem Wege selten eine homogene Kugel erhält, mehr zu empfehlen ist es, um einen cylindrischen Eisenstab eine Bleimasse zu gießen und diese dann auf der Drehbank kugelartig abzudrehen. Der Eisenstab kann dann leicht noch so eingerichtet werden, daß sich mit seinem oberen Ende der Pendeldraht verbinden läßt, und daß das untere Ende eine conische Spitze bekommt. Zu dem Pendel gehört nun noch ein Winkelmesser; er besteht aus einem doppelten Gradbogen, der auf einem geeigneten Gestelle angebracht ist und jederseits etwa 20 bis 30° umfaßt. Es versteht sich von selbst, daß dieser Apparat so gestellt sein muß, daß sein Mittelpunkt gerade unter dem Aufhängungspunkt zu stehen kommt.

Die angestellten Versuche unter den verschiedensten Breiten haben das oben aufgestellte Gesetz der Drehung der Schwingungsebene im Ganzen bestätigt, doch sind wohl die wenigsten Versuche (wenn überhaupt irgend welche) so frei von Störungen gewesen, daß nicht das gewonnene Resultat ein nur mehr oder weniger annäherndes gewesen wäre. Die Schwierigkeit liegt darin, die Pendelschwingungen immer in der Ebene zu erhalten; denn im Anfangs- und Endaugenblicke jeder Schwingung, wenn das Pendel den größten Ausschlag gewonnen hat, die lebendige Kraft der Pendelmasse null ist, kann die geringste Kraft, etwa ein leiser Luftzug oder die Erzitterung des Gewölbes, an welchem das Pendel aufgehangen ist, und wozu ein außerhalb des Gebäudes vorüberfahrender Wagen genügen kann, eine seitliche Einwirkung auf das Pendel ausüben, so daß es nicht in einer Ebene zurückfällt, sondern mit seiner untersten Spitze sphärische Ellipsen beschreibt. Kommen kleine Abweichungen von der vollkommenen Einrichtung am Apparate selbst vor, ist z. B. die Aufhängung nicht so, daß sie eine vollkommen gleiche Beweglichkeit nach allen Seiten hin besitzt, oder ist der Mittelpunkt der Kugel nicht zugleich ihr Schwerpunkt, oder ist die Oberfläche derselben nicht vollkommen drehrund, so wird das Pendel aus der Ebene der jedesmaligen Schwingung herausgedrängt und es entstehen elliptische Schwingungen. Diese elliptischen Schwingungen stören die Beobachtung der Drehung der Schwingungsrichtung wesentlich, man darf nicht blos annehmen, daß nur die Beobachtung erschwert würde und daß man anstatt der Ebene der Schwingung nur die große Axe der Ellipse zu nehmen hätte; denn die elliptischen Schwingungen nehmen in Folge des Luftwiderstandes eine selbstständige Drehung der großen Axe der Ellipse an, die entweder in derselben Richtung erfolgt als die Drehung, die von der Rotation der Erde abhängt, oder ihr entgegengesetzt ist. In jenem Falle ist dann die beobachtete Drehung größer als die nach der Theorie zu erwartende, in diesem ist sie kleiner, ja es ist sogar denkbar und ist auch bei unvollkommenen Apparaten beobachtet worden, daß durch jene störenden Einflüsse die Einwirkung der Erdrotation nicht nur vollständig aufgehoben wurde, sondern daß das Pendel sogar nach der entgegengesetzten Seite sich hinwandte.

Um nun vorstellig zu machen, wie durch den Luftwiderstand eine Drehung der Axenrichtung eines elliptisch schwingenden Pendels hervorgebracht werden kann, bezeichne umstehende Figur die Horizontalprojection der Bahn des Kugelmittelpunkts. Es sei BEC der projectirte Weg der einen Schwingung, der eine halbe

Ellipse bildet, deren große Axe B C ist. Wirkte der Luftwiderstand nicht auf das Pendel und blieben auch andere Hindernisse aus, so würde bei der folgenden Schwingung die andere Hälfte der Ellipse beschrieben, und der Kugelmittelpunkt würde am Ende der zweiten Schwingung wieder in B angekommen sein. In Folge der Hindernisse ist aber bereits die zweite Schwingung kleiner als die erste, der Kugelmittelpunkt kommt nicht wieder nach B, sondern befindet sich am Ende der zweiten Schwingung etwa in D. Nun kann man sich die elliptische Schwingung zusammengesetzt denken aus zwei Schwingungen, die gleichzeitig nach den beiden Axen der Ellipse erfolgen, die Bewegung in der Richtung der kleinen Axe ist nun viel langsamer, als die in der Richtung der großen Axe, die letztere wird daher auch durch den Luftwiderstand mehr gehindert als die erste, daher kommt es, daß in dem Augenblicke, wo die Schwingung nach der großen Axe in D ihr Ende erreicht, die gleichzeitige halbe Schwingung nach der kleinen Axe, die in der Rückkehr zur Axe B C besteht, noch nicht vollendet ist; der Mittelpunkt der Kugel kehrt also schon in D um, ehe er die Axe B C erreicht hat. Die große Axe der neuen Ellipse liegt also jetzt in der Linie D A, oder die große hat während zweier einfacher Schwingungen von der Richtung B A sich bis D A gedreht. Man sieht, daß diese Drehung der großen Axe der Bewegung der Kugel in der Ellipse gerade entgegengesetzt ist.



Man hat diese Abweichungen von der gesetzmäßigen Erscheinung wohl überall bemerkt, auch zuweilen gemessen. Dufour beobachtete ein Pendel von 20 Meter Länge mit einer 12 Kilogramm schweren Bleikugel *). Er ließ das Pendel in der Meridianebene seine Schwingungen beginnen, oder in einer Richtung senkrecht darauf, und beobachtete die Zeit, während welcher die Richtung der Pendelbewegung eine Drehung von 25° angenommen hatte. Das mittlere Resultat von vier Beobachtungen auf jeder Linie war, daß die Ablenkung von 25° geschah

vom Meridian aus in $2^h,376$,
vom Perpendikel aus in $2^h,110$,

nach der Theorie mußte diese Ablenkung in $2^h,3061$ geschehen, das Pendel hatte also vom Meridian aus eine beschleunigte, vom Perpendikel aus eine verzögerte Bewegung. Eine einzige Beobachtung, bei welcher das Pendel einen Winkel von 65° mit dem Meridian bildete, traf nahezu mit der Theorie überein. Die Hauptdifferenz der Beobachtung mit der Theorie liegt also hier bei den Schwingungen, die in der Richtung des Parallelkreises angestellt wurden, diese Schwingungen waren aber auch jedesmal, wie berichtet wird, elliptisch, woraus sich nun nach dem Obigen die Abweichung erklärt.

Ein allgemeines Gesetz jener Störungen hat sich noch nicht ergeben, man kann überhaupt annehmen, daß sie aus localen Ursachen hervorgehen und mit der Umdrehung der Erde selbst in keinem Zusammenhange stehen, wie man denn die Vermuthung ausgesprochen hat, daß sie aus der Centrifugalität hervorgehen könnten.

Da die oben aufgestellten Ursachen der Störungen theils auf Zufälligkeiten, theils aber auf Eigenthümlichkeiten des Apparates Bezug nehmen, so kann man

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 149.

aus der regelmäßigen Wiederkehr derselben Störungen bei demselben Apparat noch nicht schließen, daß jene Störung mit dem Hauptphänomen zusammenhinge. Durch Wiederholung der Versuche mit demselben Apparate unter sonst gleichen Umständen kann man den Einfluß der zufälligen Störungen erkennen, durch Wiederholung der Versuche mit theilweis abgeändertem Apparat kann man die Störungen erkennen, die aus dem Apparate selbst hervorgehen. Der Apparat ließe sich aber abändern, wenn man 1) blos die Aufhängungsart abänderte, oder 2) blos an die Stelle der Kugel eine andere von anderer Größe und Dichte setzte, oder 3) den Draht mit einem anderen vertauschte. Die Vergleichung aller dieser Versuchsreihen würde dann auch experimentell die Frage erledigen, ob die Drehung der Pendelebene auch noch eine terrestrische Störung erleidet. In diesem Umfange sind die Versuche unseres Wissens noch nicht angestellt, obwohl es wünschenswerth wäre, daß es stattfände.

Wir haben gesehen, daß die Foucault'schen Pendelversuche zum Beweise der Axendrehung der Erde zu der eigentlichen Theorie der Pendelbewegung keine wesentliche Beziehung haben, so daß es möglich ist, auch an anderen Bewegungen den Einfluß der Erdrotation nachzuweisen. Die Pendelbewegung wird zu diesem Zweck aber das beste Mittel bieten, weil man im Pendel sehr leicht eine mehrere Stunden andauernde Bewegung hervorrufen kann, an welcher dann der Einfluß der Erdrotation merklich hervortritt. Das Mangelhafte der Pendelbewegung für diesen Zweck besteht einerseits in der großen Empfindlichkeit der Schwingungsebene eines frei schwingenden Pendels, die, wie wir gesehen haben, durch die kleinsten Kräfte afficirt wird, andererseits darin, daß die Schwingungsebene nicht eine ganz von der Erde unabhängige Lage hat, da sie stets genöthigt ist, der Richtung der Schwere zu folgen. Beide Mängel können durch eine Abänderung des Bohnenberger'schen Rotationsapparats vermieden werden, auf dessen Brauchbarkeit zu diesem Zwecke schon Poggendorff*) hingewiesen hat. Man setze an die Stelle der Kugel einen möglichst schweren Schwungring und lasse die Rotationszapfen so sorgfältig als möglich arbeiten. Wird nun der Schwungring in möglichst schnelle Rotation versetzt, so ist die Ebene der Rotation absolut unabhängig von der Rotation der Erde, so daß, wenn die Axe der rotirenden Ebene auf irgend einen Fixstern gerichtet ist, sie diese Richtung beibehalten wird, also mit dem Fixstern die bekannte scheinbare Bewegung annehmen wird, so lange die Rotation des Schwungringes dauert. Es wird leicht möglich sein, den Apparat in mäßiger Größe so herzustellen, daß eine Rotation des Ringes etwa eine Viertelstunde dauert. In dieser immerhin noch kurzen Dauer einer einmal ertheilten Bewegung steht dieser Apparat hinter dem Foucault'schen Pendel zurück.

Die Foucault'sche Entdeckung wurde die Veranlassung zur Construction verschiedener anderer Apparate, die sämmtlich den Zweck hatten, an der relativen Stabilität gewisser Rotations- und Schwingungsbewegungen die Rotation der Erde erkennen zu lassen; wir müssen sie als nicht hierher gehörig übergehen, wie wir auch die Apparate übergehen, die zu dem Zweck construirt wurden, das Foucault'sche Gesetz der Drehung der Pendelebene zu erläutern.

---

*) Ann. Bd. LXXXIII. S. 308.

Literatur. Das bedeutendste und für jeden, der selbst Pendelversuche anstellen will, unentbehrlichste Werk ist: F. W. Bessel, Untersuchungen über die Länge des einfachen Secundenpendels. Berlin 1828. Besonders abgedruckt aus den Abhandlungen der Akademie zu Berlin für 1826.

Angaben über Pendelversuche und die Methoden zur Correction der Beobachtungen findet man in: Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques, exécutées par ordre du bureau des longitudes de France en Espagne, en France, en Angleterre et en Ecosse etc. redigé par M. M. Biot et Arago. Paris 1822.

Die meisten Abhandlungen über das Pendel finden sich in Zeitschriften zerstreut. Die wichtigsten sind: Squire, über den Einfluß des Feuchtigkeitszustandes der Luft auf die Schwingungsbogen des Pendels. The philosophical magazine and journal. T. LXV. p. 38. The mechanic magacine. London. T. V. p. 123. — Kater's Pendel. The mechanic magazine. T. IV. p. 285. — Laplace, über die Reduction der Pendellänge auf das Niveau des Meeres. Annales de chimie et physique. 2. Ser. T. XXX. p. 381. — Ivory, über die Länge des Secundenpendels und die Gestalt der Erde. The philosophical magazine and journal. T. LXVIII. p. 246. 321. — Freycinet, über die Länge des Secundenpendels und die Gestalt der Erde. The Quaterly journal of science etc. T. XXII. p. 143. — Swanberg, über die Länge des Secundenpendels und die Gestalt der Erde. The Quaterly journal etc. T. XXII. p. 152. 365. — Sabine, über Pendellängen und Pendelversuche. Annales maritimes et coloniales 1826. II. T. II. p. 308. 1827. II. T. I. p. 481. The philosophical magazine and journal. T. LXVIII. p. 350. The Quaterly journal etc. T. I. p. 1. 1829 I. — Lütke, Pendelbeobachtungen auf der russischen Entdeckungsreise. Mémoires de l'Académie de Petersbourg 1830. W. S.

Periode (v. d. griech. περίοδος, Umlauf) heißt jeder Zeitraum, nach dessen Verlauf gewisse Erscheinungen sich wiederholen. Jeder Tag, jedes Jahr rc. ist hiernach eine Periode. Vorzugsweise nennt man aber größere Zeiträume in der Chronologie Perioden. Die Julianische Periode umschließt die Zeit, nach deren Verlauf ein Jahr dieselbe Zahl des Sonnencyclus, des Mondcyclus und des Indictionscyclus (s. d. Art. Cyclus) wieder erhält; also 28 . 29 . 15 = 7980 Jahre. Die drei Zahlen, welche jedem einzelnen Jahre nach den drei Cyclen zukommen, heißen die chronologischen Kennzeichen, und die zweite Julianische Periode wird also der ersten so entsprechen, daß die einzelnen Jahre derselben mit den eben so vielten der ersten Jul. Periode gleiche chronologische Kennzeichen haben. Das erste Jahr der Jul. Periode muß die Zahlen der Cyclen 1, 1, 1 haben. Hieraus läßt sich berechnen, daß das erste Jahr vor der (angenommenen) Geburt Christi, von welchem ab wir rechnen, das 4713. der Jul. Periode ist, und hiernach lassen sich alle Jahre jeder Zeitrechnung auf die Jul. Periode zurückführen, die, von Joseph Scaliger eingeführt, Ordnung und Uebersichtlichkeit in die Chronologie brachte.

Percussionsmaschine, s. Bewegung, Bd. I. S. 842.

Perigäum, s. Erdferne und Planeten.

Perihelium, s. Planeten.

Perpetuum mobile. Ein Perpetuum Mobile ist ein materieller Gegenstand, der sich immer in Bewegung befindet, und dessen Bewegung nicht durch andere

Körper unterhalten wird. Die letzte Bestimmung, obwohl nicht durch den Wortlaut gegeben, gehört nothwendig zum Begriff, denn ein blos immer Bewegtes, das aber den Grund seiner Bewegung außer sich hat, wie etwa eine Barometersäule mit ihren nie ruhenden Schwankungen, eine Magnetnadel mit ihren fortwährenden Oscillationen, ein Fluß, der immer fließt und nie stillsteht, die Ebbe und Fluth des Meeres oder selbst eine Mühle, die durch einen Fluß oder durch Ebbe und Fluth in steter Bewegung erhalten wird, wird Niemand ernstlich mit diesem Namen benennen wollen.

In diesem Sinne giebt es nun erfahrungsmäßig nur ein Perpetuum Mobile, nämlich das Weltganze. Die gewöhnliche Bedeutung, in der jenes Wort genommen wird, ist aber eine engere; man versteht darunter eine künstliche Vorrichtung, die den Grund ihrer Bewegung oder der steten Erhaltung derselben in sich trägt. Es soll also das künstliche Perpetuum Mobile ein Abbild sein des natürlichen, des Weltganzen, es soll ein Apparat sein, der seine Bewegung in sich und aus sich hat, sie nicht hernimmt von der allgemeinen Bewegungskraft der Natur. In der Forderung eines Perpetuum Mobile kann es nun verständigerweise nicht auf eine absolut ewige Bewegung abgesehen sein, da es ja von vornherein unmöglich erscheint, die materiellen Bestandtheile des Apparats dem zerstörenden Einfluß der Naturkräfte, der Verwitterung, der allmäligen Abreibung und dergleichen zu entziehen, man giebt gern die ewige Dauer des Apparats preis, wenn nur die stete Bewegung aus sich gewonnen wird. —

Diese Aufgabe hat lange Zeit denkende Köpfe beschäftigt und ist nicht ohne tief greifenden Einfluß auf die Gestaltung der Naturwissenschaften geblieben. Erst galt es eine stets sich bewegende Maschine zu construiren. Man hoffte sogar, Maschinen herzustellen, die nicht blos stete Bewegung besäßen, sondern die noch einen Ueberschuß von Arbeit hervorbrächten, der sich zum Nutzen der Menschen verwerthen ließe. Als alle Versuche mißglückten, alle Behauptungen, das Problem gelöst zu haben, entweder auf absichtslose oder absichtliche Täuschung, auf Irrthum oder Betrug, hinausgegangen waren, als die Versuche dazu selbst allmälig in Verruf kamen, nur noch träumerische Naturen sich damit beschäftigten, die weniger wissenschaftliche Kenntniß von der Sache, dagegen mehr Selbstvertrauen besaßen, da fragte man nach den Gründen der Unmöglichkeit einer solchen Maschine. Als auch die Beantwortung dieser Frage entschieden war, wie sie ja jetzt Jedem, der mit den Hauptlehren der Mechanik vertraut ist, geläufig sein muß, hatte sich eigentlich ein Widerspruch ergeben. Warum sollte ein Perpetuum Mobile im Kleinen nicht möglich sein, da es doch im Großen, in der Gesammtnatur augenscheinlich vorlag? Oder, wenn jene Unmöglichkeit unbestreitbar feststand, sollte nicht die scheinbare Unveränderlichkeit des Weltganzen eine Täuschung sein, sollte nicht die Natur ihre Bewegung, so wie jede menschliche Maschine, nur von einem mitgegebenen Arbeitsquantum entnehmen, nach dessen Erschöpfung auch die Uhr der Welt abgelaufen wäre? Es galt also die Natur und die Quelle der bewegenden Kräfte zu untersuchen, eine Untersuchung, die noch lange nicht als geschlossen zu betrachten sein wird, aus der aber jetzt schon die Wahrscheinlichkeit erhellt, daß auch das Naturganze nicht im strengsten Wortsinne als ein Perpetuum Mobile anzusehen sein wird, daß es, wie es aus einem Anfange hervorgegangen ist, so auch einem Endpunkte entgegengeht, und daß jeder

Tag an dem noch vorhandenen Kapitale der Arbeitskraft zehrt, nach dessen Aufzehrung auch alle Bewegung in der Natur aufhören muß.

Was nun die theoretische Frage nach der Unmöglichkeit eines künstlichen Perpetuum Mobile betrifft, so steht zuerst fest, daß keine solche Maschine auch nur gedacht werden kann, die lediglich in Folge ihrer künstlichen Construction sich bewegt, ohne daß bestimmte Kräfte in ihr thätig wären. Eine solche Maschine ist deshalb eine logische Unmöglichkeit, weil die Ursache der Bewegung eben Kraft genannt wird, und weil es zum Begriff der Materie gehört, gleichgültig gegen die Bewegung zu sein; wo also ein materieller Körper sich bewegt, da ist auch eine Ursache der Bewegung, und diese heißt Kraft. Eben so bleibt eine Maschine logisch unmöglich, die, wenn auch von Außen in Bewegung gesetzt, in Folge ihrer Construction diese Bewegung vergrößert; denn aus sich selbst kann ein materieller Körper seine Bewegung nicht abändern, auch zu jeder Bewegungsänderung gehört Kraft. Denkbar bleiben nur zwei Arten dieser Maschinen, zuerst solche, die, einmal in Bewegung gesetzt, diese Bewegung sich erhalten könnten, und zweitens solche, in denen das Spiel gewisser mit in die Construction aufgenommener Kräfte die stete Bewegung hervorbrächte. Daß aber beide Arten praktisch unausführbar sind, bedarf eines Beweises.

Eine Maschine, die im Gleichgewicht aller Kräfte construirt ist, würde nach dem Beharrungsvermögen die ihr einmal ertheilte Bewegung unverändert behalten, wenn nicht durch ihre Bewegung selbst Kräfte erweckt würden, die dieser Bewegung entgegenarbeiten und sie zuletzt vernichten. Diese beiden Kräfte sind die Reibung und der Widerstand des Mittels. Ließe sich auch das letzte Hinderniß beseitigen, indem man die Maschine in einen luftleeren Raum stellte, so bleibt das Hinderniß der Reibung gänzlich unvermeidlich, weil wir keine Maschine ohne unbewegliche Unterlage denken können, die Bewegung eines Maschinentheils auf der unbewegten Unterlage aber stets die hemmende Reibung hervorruft. Es bleibt somit nur die eine Art der Maschinen übrig, in welchen bewegende Kräfte so angebracht sind, daß die Gesammtwirkung der Kräfte, welche die beabsichtigte Bewegung fördern, größer ist als die Gesammtwirkung der hemmenden Kräfte. Das Verführerische hierbei liegt darin, daß solche Maschinen auf den ersten Blick deshalb als möglich erscheinen, weil ja doch bei Hebel und Schraube sehr leicht eine kleine Kraft (Druckkraft) eine viel größere überwinden kann. Um nun diese Frage in ihrem ganzen Umfange zu besprechen, sind wir genöthigt abermals eine Unterscheidung zu machen. Wir müssen nothwendig zwei Arten von Naturkräften unterscheiden; die erste Art umfaßt die eigentlich mechanischen Kräfte, solche Kräfte, die unmittelbare Bewegung hervorbringen oder auf die Bewegung unmittelbar hemmend wirken; hierher gehören vorzüglich die Schwere, die Elasticität, die Cohäsion und Adhäsion und im gewissen Sinne der Magnetismus. Diese Kräfte haben das Eigenthümliche, daß durch ihre Wirksamkeit die Beschaffenheit der Körper, in denen sie ihren Sitz haben, nicht geändert wird, an sie denkt man auch fast ausschließlich, wenn man von einem Perpetuum Mobile handelt. Es giebt aber noch andere Kräfte, die mittelbar auch Bewegung hervorrufen, dabei aber gewöhnlich die Körper, von denen sie ausgehen, wesentlich verändern. So z. B. die Wärme, die das Wasser in elastischen Wasserdampf verwandelt und dadurch Bewegung hervorruft, aber wir erzeugen die Wärme gewöhnlich durch Verbrennen gewisser Körper; oder

ferner der Chemismus, der Wärme und durch sie Bewegung erzeugt, aber auch die Körper, in denen er thätig ist, ändert; oder die Elektricität, insofern sie Magnetismus weckt oder durch Zersetzung der Stoffe Chemismus hervorruft. Da diese Kräfte nun gleichzeitig materielle Veränderungen hervorrufen, so denkt man an sie gewöhnlich nicht, wenn vom Perpetuum Mobile die Rede ist, doch eine strenge Untersuchung darf auch sie nicht ausschließen.

Die gewöhnlichen rein mechanischen Maschinen bestehen aus Theilen, die sich sämmtlich auf zwei Grundformen, den Hebel und die schiefe Ebene zurückführen lassen. Am Hebel kann bekanntlich eine kleine Kraft einer großen das Gleichgewicht halten; ist z. B. der eine Hebelsarm zehnmal größer als der andere, so kann ein Pfund an jenem mit zehn Pfund an diesem im Gleichgewicht stehen. Bewegt sich aber der Hebel, so wird das eine Pfund einen zehnmal größeren Weg zurücklegen, also zehn Fuß sinken, wenn die zehn Pfund um einen Fuß steigen. Hieraus folgt nun, daß das Product aus jedem dieser beiden Gewichte mit seinem Wege für beide Endpunkte des Hebels dieselbe Größe ist. Das Product aus einer Kraft mit ihrem Wege nennt man nun die Arbeit der Kraft, und wenn man das Product von einem Pfunde mit einem Fuß ein Fußpfund nennt, so wäre in dem Beispiel des besprochenen Hebels die Arbeit der bewegenden Kraft zehn Fußpfund (1 Pfd. × 10 F.) und die Arbeit der bewegten Last auch zehn Fußpfund (10 Pfd. × 1 F.). Dasselbe Gesetz, daß stets die Arbeit der Kraft der Arbeit der Last gleich ist, besteht auch für die schiefe Ebene und somit für alle aus beiden Elementarmaschinen abgeleiteten und zusammengesetzten Maschinen. Dabei ist noch der Einfluß, den die Reibung und der Widerstand des Mittels zum Nachtheil der Bewegung ausüben, außer Betracht gelassen. Hieraus folgt nun, daß die Maschinen wohl eine von ihnen aufgenommene Arbeit in ihren Factoren Kraft und Geschwindigkeit abändern können, daß dabei aber die Größe der Arbeit unverändert bleibt. Man kann also mit einer gegebenen Kraft eine große Last in Bewegung setzen, aber die Geschwindigkeit dieser Last wird dann nur gering sein, oder man kann mit einer gegebenen Kraft eine große Geschwindigkeit hervorbringen, aber diese Geschwindigkeit wird nur einer geringen Last ertheilt werden können. Dieses selbe Gesetz von der Erhaltung der ursprünglich vorhandenen Arbeitsmenge kommt in der Mechanik noch in zwei anderen Gestalten vor. Wirkt eine Kraft, ohne daß sie eine Last zu überwinden hat, so erzeugt sie Geschwindigkeit in dem zuerst bewegten Körper, und dieser erhält dadurch das Vermögen, eine gewisse Arbeit auszuüben. Dieses Vermögen heißt seine lebendige Kraft und ist genau gleich der auf die Erzeugung seiner Geschwindigkeit verwandten Kraftarbeit. Wirkt zweitens eine Kraft auf einen elastisch widerstrebenden Stoff, z. B. auf elastische Federn oder auf abgeschlossene Luft, so erzeugt sie durch Zusammenpressung desselben ein Bestreben der Rückwirkung, eine Spannung, die wiederum bewegend wirken kann. Im günstigsten Falle aber, wenn vollkommene Elasticität vorausgesetzt werden kann, kann immer nur durch diese elastische Spannung eine solche Arbeit erzeugt werden, die gleich ist der Kraftarbeit, die auf die Hervorbringung der Spannung verwandt wurde. (Das Nähere siehe in dem Artikel „Mechanische Arbeit"). Zieht ein Magnet einen anderen oder ein Stück Eisen an, so wird damit eine gewisse Arbeit ausgeübt, aber eine genau gleiche Arbeit muß ausgeübt werden, wenn die beiden, durch jene Anziehung einander näher gebrachten Körper wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückgebracht werden sollen. So viel

wir uns auch in der Welt der Bewegung umsehen, so finden wir immer nur Umformung ursprünglich vorhandenen Arbeitsvermögens, nie aber ursprüngliche Erzeugung oder Vermehrung der Arbeit. Demnach ist es nicht möglich, eine Maschine zu construiren, die einen fortlaufenden Ueberschuß mechanischer Arbeit hervorbrächte, da nur unter der Voraussetzung, daß Reibung und Widerstand des Mittels nicht vorhanden sind, und daß alle Materialien vollkommene Elasticität besitzen, Maschinen denkbar sind, welche die Menge ursprünglich gegebener Arbeit bewahren. Aber auch diese Voraussetzung findet in der Wirklichkeit nicht statt, Reibung und Luftwiderstand bewirken, daß stets die Arbeit der Last geringer ausfällt als die Arbeit der Kraft und die Unvollkommenheit der Elasticität bewirkt immer, daß eine elastische Spannung weniger Arbeit zu erzeugen im Stande ist, als auf die Hervorbringung jener Spannung selbst verwandt ist. Um jene zehn Pfund, die am kürzeren Hebelsarme hingen, wirklich zu bewegen, muß an dem zehnmal längeren anderen Hebelsarme mehr als ein Pfund Kraft wirken, und da dabei der Weg der Kraft doch zehnmal größer bleibt als der der Last, so ist auch die Kraftarbeit größer als die Lastarbeit. Eine elastische Kugel, die auf eine horizontale Fläche fällt, würde durch Rückwirkung ihrer Elasticität selbst im luftleeren Raume nicht zur ursprünglichen Höhe aufsteigen, weil ihre Elasticität nie ganz vollkommen sein wird. Deshalb stellt sich neben jenes theoretische Gesetz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit das andere, daß in Folge der mechanischen Hindernisse mit jeder Umformung gegebener Arbeit und mit jeder Bewegung der Körper auch eine Verminderung der vorhandenen mechanischen Arbeit verbunden ist, daß also jedes bestimmte Quantum gegebener mechanischer Arbeit in der Bewegung selbst mit der Zeit verzehrt wird, und daß keine Maschine möglich ist, die stete Bewegung besäße, ohne von Neuem mechanische Arbeit in sich aufzunehmen.

Je zusammengesetzter nun eine Maschine ist, desto größer muß auch jener Verlust an mechanischer Arbeit sein, und es heißt geradezu das Ziel auf dem verkehrten Wege suchen, will man einen Gewinn an mechanischer Arbeit durch große Complicirtheit der Maschine erzielen, wohl aber kann durch größere Complicirtheit der Maschinerie die Täuschung, die bei jedem vorgeblichen Perpetuum Mobile vorkommt, unkundigen Augen gegenüber verdeckt werden.

Mit Recht hat also jedes Vorgeben, das Perpetuum Mobile erfunden zu haben, das Urtheil der Wissenschaft von vorn herein gegen sich, und schon im Jahre 1775 beschloß die Akademie zu Paris, keinen Vorschlag zu Construction einer solchen Maschine mehr anzunehmen. In jedem einzelnen Falle handelt es sich immer nur um den Nachweis des Irrthums oder Betruges. So hat denn auch keine Maschine, die früher als Perpetuum Mobile ausgegeben wurde, sich als solches bewährt, so sehr auch manche selbst Kundige anfangs in Verlegenheit setzten. Von ihnen wollen wir hier nur einer einzigen Erwähnung thun. Der Uhrmacher Geiser in La Chaux de Fond verfertigte ein Rad, an dessen Peripherie kleine Cylinder so angebracht waren, daß sie an der abwärts gehenden Seite sich nach außen richteten, während sie an der aufwärts gehenden einfach herabhingen, auf jener besaßen sie also scheinbar ein Uebergewicht, von dem die Bewegung des Rades und einer damit in Verbindung gesetzten Uhr bewirkt zu werden schien. Die Maschine bewegte sich und täuschte selbst geübte Mechaniker. Nach dem Tode des Künstlers stand jedoch die Maschine still, man nahm die Maschine auseinander, und entdeckte erst nach dem Abnehmen des Secunden-

zeigers das Loch zum Einstecken des Uhrschlüssels; die bewegenden Federn und das äußerst feine Räderwerk fanden sich in den anscheinend massiven Stangen der Maschine.

Eine erweiterte Gestalt erhält die Frage nach einem Perpetuum Mobile, wenn man die zweite Abtheilung der bewegenden Kräfte, Wärme, Chemismus, Elektricität mit in die Betrachtung zieht. Scheint ja doch das zwischen zwei Zamboni'schen Säulen aufgehängte elektrische Pendel alle Eigenschaften einer solchen Maschine zu besitzen. Jedermann weiß ferner, daß durch Reibung, also durch Bewegung Wärme erzeugt werden kann. Man hat neuerdings Apparate vorgeschlagen *), durch welche die so entwickelte Wärme zum Kochen der Speisen oder der Erwärmung von Zimmern benutzt werden soll. Wenn man nun jene Wärme benutzt, um Bewegung hervorzubringen, etwa durch eine kleine Dampfmaschine, und zwar gerade dieselbe Bewegung, durch welche jene Wärme erzeugende Reibung hervorgerufen wird, so hätte man ja ein Perpetuum Mobile. Man erkennt, daß jene Schlußreihe, welche die Unmöglichkeit eines rein mechanischen Perpetuum Mobile darthat, hier nicht mehr anwendbar ist; dort handelt es sich um die Verwandlung einer mechanischen Arbeit in eine andere mit veränderten Factoren oder in lebendige Kraft bewegter Massen oder in elastische Spannung, hier aber haben wir einerseits mechanische Arbeit, andererseits Wärme, und es fragt sich, ob auch hier zwischen der mechanischen Arbeit und der Wärme ein Gesetz besteht, das dem oben erwähnten Gesetz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit an die Seite zu setzen wäre. Ein solches Gesetz ist denn auch in der neueren Zeit gefunden. Man hat erkannt, daß die in der Reibung oder im Stoß verloren gehende mechanische Arbeit stets proportional ist der erzeugten Wärme, und daß, wenn durch Wärme mechanische Arbeit erzeugt wird, ein dieser Arbeit proportionaler Theil der Wärme als solche verloren geht, es findet also eine gegenseitige Umsetzung statt, entweder verschwindet mechanische Arbeit und es tritt dafür Wärme auf, oder es verschwindet Wärme und es tritt dafür mechanische Arbeit auf. Hierbei ist dann eine Wärmeeinheit C gleich 1350 Fußpfund mechanische Arbeit. (Das Nähere siehe unter Art. Wärme, das mechanische Aequivalent derselben.) Doch auch hier tritt neben das theoretische Gesetz, daß auch in der Umwandlung in Wärme die Summe ursprünglich gegebener mechanischer Arbeit erhalten bleibt, das andere, daß bei der wirklichen Anwendung dieses Princips ein Verlust an mechanischer Arbeit unvermeidlich ist, denn einmal läßt sich das Quantum der entstandenen Wärme wegen der Strahlung und Fortleitung nicht unvermindert beisammen halten, ferner läßt sich die Wärme nur da, wo sie eine Temperaturdifferenz bewirkt, und auch hier nur theilweise in mechanische Arbeit zurückführen. Daher folgt auch die Unmöglichkeit eines solchen Perpetuum Mobile, in welchem eine gegebene Bewegung sich in Wärme umsetzt, und aus der Wärme wieder Bewegung abgeleitet werden soll.

Es hatte Jemand den Vorschlag gemacht, mittelst einer magnetoelektrischen Rotationsmaschine einen elektrischen Strom zu erzeugen, durch diesen Wasser zu zersetzen, die beiden erhaltenen Gase wieder in einander zu verbrennen, mit der hierdurch erhaltenen Wärme eine kleine Dampfmaschine zu bewegen, um durch diese wieder die rotirende Bewegung des Ankers an dem ersten Apparat hervor-

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLI. S. 183.

zubringen. Daß solche Maschine die erwarteten Dienste nicht leisten wird, können wir vom theoretischen Standpunkte aus zur Zeit nur durch Analogie schließen, indem wir vermuthen, daß zwischen der zur Umdrehung des Ankers nöthigen mechanischen Arbeit und der Quantität erzeugter Elektricität, zwischen dieser wieder und der zwischen dem Sauerstoff und Wasserstoff des zersetzten Wassers bestehenden chemischen Anziehung, zwischen dieser endlich und der bei dem Verbrennen entstehenden Licht- und Wärmemenge eine ähnliche Aequivalenz besteht, wie wir sie zwischen der mechanischen Arbeit und der Wärme bereits nachweisen können. Wenn aber jener Kreislauf der Kräfte, ausgehend von einem gegebenen Quantum mechanischer Arbeit, durch die Wärme hindurchgehend wieder zur mechanischen Arbeit zurückkehrt, so folgt — obige Aequivalenz vorausgesetzt — daß doch der früher erwähnten Natur der Wärme wegen das schließlich resultirende Quantum mechanischer Arbeit viel geringer sein wird, als das ursprüngliche. Es ist noch Aufgabe künftiger Naturforschung, das hier angeregte Verhältniß der Naturkräfte auch quantitativ festzustellen, und so die Unmöglichkeit des künstlichen Perpetuum Mobile zur vollsten Evidenz zu erheben. Von diesem Standpunkte aus erscheint alle Bewegung in der gesammten Natur nur als ein stetes Umsetzen der Naturkräfte, die aber da, wo sie sich in Wärme verwandelt haben, den einen Theil als Wärme zurücklassen müssen, und nur den anderen Theil dem allgemeinen Spiele zurückgeben können, so daß auch im Naturganzen die Summe wirksamer Kräfte von Tage zu Tage geringer werden muß, und, wie es scheint, nicht einmal das Naturganze den Namen eines Perpetuum Mobile in aller Strenge verdient.

W. S.

Perspective, s. Projection.

Pfannenstein, s. Kesselstein.

Pfeife, s. Schall.

Pferdekraft, s. Mechanische Arbeit.

Pflanzenelektricität. Im Artikel Elektricität sind Versuche von Becquerel und Wartmann angeführt, nach welchen in allen Pflanzentheilen elektrische Strömungen stattfinden sollen, was insofern nichts Auffallendes hat, als in den Pflanzen wohl überall ungleichartige Stoffe, die zu solchen Strömungen Veranlassung geben können, mit einander in Berührung stehen. Buff bemerkt jedoch gegen jene Versuche, daß in deren Kreis ein fremdes Element der Wirksamkeit, nämlich Platin, eingeführt worden sei, dessen Einfluß man nicht gehörig beachtet habe. Platin erfährt bekanntlich, wenn es mit ungleichartigen Flüssigkeiten in Berührung steht, eine ungleiche elektrische Störung, wie denn auch ganz gleich beschaffene Platindrähte, nach einander in eine und dieselbe Flüssigkeit getaucht, eine Störung des elektrischen Gleichgewichts herbeiführen.

Buff selbst stellte nun über diesen Gegenstand einige Untersuchungen an *), indem er die Frage zu lösen suchte, ob die Pflanzen im natürlichen Zustande und bei freiem Wachsthum Elektricität ausscheiden, — eine Frage, die derselbe durch jene Versuche als noch nicht gelöst ansieht. Buff brachte diejenigen äußeren und inneren Theile der Pflanzen, deren elektrische Beziehungen untersucht werden sollten, unmittelbar nur mit Wasser in Berührung, und benutzte folgende Vorrichtung.

---

*) Ann. der Chemie und Pharmacie. Bd. LXXXIX. S. 76.

Zwei Bechergläser waren bis $^1/_2$'' über dem Boden mit Quecksilber und darüber bis nahe zum Rande mit Wasser gefüllt. Platindrähte, in Glasröhren eingeschmolzen, tauchten mit den gut amalgamirten Enden, die nur einige Linien lang aus dem Glase hervorsahen, in das Quecksilber und waren andererseits mit den Enden eines Multiplicatordrahtes verknüpft. Diese Kette von Leitern konnte leicht dadurch geschlossen werden, daß man einen beliebigen anderen Leiter gleichzeitig in die beiden Wasserbehälter tauchte. Wurde nun diese Schließung durch einen Streifen nassen Löschpapiers bewerkstelligt, so blieb die Nadel im Multiplicator (Galvanometer) unbeweglich. An die Stelle des Papiers wurde die auf ihre Elektricität zu untersuchende Pflanze gebracht, und nach Beendigung des Versuches schloß man den leitenden Kreis wieder mit dem Papier, um jeden fremdartigen störenden Einfluß für den folgenden Versuch zu entfernen.

Die mit den Wurzeln ausgehobenen und sorgfältig gereinigten Pflanzen wurden nun mit den Wurzeln in den einen Becher und mit einem Theil der unverletzten Blätter in den anderen Becher getaucht und bei dem folgenden Versuche umgekehrt verfahren. Buff untersuchte auf diese Weise eine große Anzahl Pflanzen im frischen Zustande. Die Nadel des Galvanometers wurde nun jedesmal, bald mehr bald weniger, abgelenkt. Der Sinn der Ablenkung war stets derselbe, und zeigte einen Strom an, der durch die Pflanze von den Wurzeln nach den Blättern gerichtet war. Einzelne Aeste und Blätter wurden in gleicher Weise untersucht; und es war immer ein Strom zu erkennen, dessen Richtung stets von der verletzten Stelle zur Außenfläche der Blätter ging. Abgerissene Zweige, die mehrere Tage lang im Wasser gestanden hatten, ja halb welke und abgefallene Blätter wirkten noch immer, wennschon weniger kräftig. Mehrmals blieb die Kette bei einer Pflanze während einiger Stunden geschlossen, ohne daß der Strom erlosch. Das Resultat dieser Versuche ist, daß die Wurzeln und alle inneren mit Saft erfüllten Theile der Pflanzen sich in einem dauernd negativ elektrischen Zustand befinden, während die feuchten oder befeuchteten Außenflächen der frischen Zweige, Blätter, Blumen und Früchte dauernd positiv elektrisch sind. Dagegen findet ein elektrischer Unterschied der Pflanzen von unten nach oben nicht statt; zwischen den Außenflächen unter sich, oder den inneren Theilen unter sich traten keine Wirkungen ein, die das Gegentheil schließen ließen. Ein bestimmt ausgeprägter dauernder elektrischer Gegensatz findet sich vor zwischen den Flüssigkeiten im Innern der Pflanzen und der äußersten, die noch frischen Zweige und Blätter umschließenden Hülle, der Epidermis. Dieser Ueberzug enthält bekanntermaßen einen wachsartigen Stoff, der ihm die Eigenschaft ertheilt, den Durchgang der sauren und salzigen Flüssigkeiten, welche das Innere der Pflanzen erfüllen, zu unterbrechen, ohne daß er im gleichen Maße die Eigenschaft verliert, sich zu befeuchten, Wasser durchzulassen und die Elektricität zu leiten. Hierdurch ist zwischen der durch Thau und Regen mit Wasser bedeckten oder auch nur feuchten Oberfläche einer Pflanze und der Flüssigkeit im Innern dauernd eine scharfe Grenze gegeben, während doch die wechselseitige, unmittelbare Berührung und leitende Verbindung nicht aufhört. Alle Bedingungen einer fortdauernden elektromotorischen Thätigkeit sind dadurch vorhanden, so daß durch dieselbe die ganze Außenfläche positive, alle inneren Theile bis zu den Wurzeln herab und diese selbst eingerechnet negative Elektricität annehmen. Da nun die in einer Pflanze vorgehende elektrische Erregung nur auf dem Unterschiede zweier, an sich schon wenig energischer Contactwirkungen

beruht, so waren bedeutende Spannungseffecte nicht zu erwarten und wurden auch nicht beobachtet. Durch Bildung einer zusammengesetzten Pflanzenkette gelang es aber, solche hervorzurufen, die unzweifelhaft nur von dieser Quelle abhängig sein konnten. Jedes unverletzte Blatt bildet vom Stielende zur Außenfläche ein galvanisches Element. Es konnte daher eine Anzahl Blätter in geeigneter Weise zu einer Reihe so geordnet werden, daß eine zusammengesetzte galvanische Kette entstand. Eine solche aus 12 Paaren bestehend gab mit Condensator und Säulenelektroskop sehr bestimmte Wirkungen, wiewohl die Kraft der ganzen Kette noch immer sehr gering war und kaum die Hälfte eines galvanischen Zink-Kupfer-Wasserelements betragen mochte.

Buff schließt aus seinen Versuchen, daß die elektromotorische Kraft, welche die elektrische Ausscheidung in den lebenden Pflanzen bedingt, mit dem Vegetationsprocesse in keinem directen Zusammenhange stehe und nur von dem chemischen Gegensatze des Wassers zu den Pflanzensäften abhängig sei.

Phänakistiskop, s. Stroboskopische Scheibe.

Phantaskop, s. Stroboskopische Scheibe.

Phantasmagorische Erscheinungen, s. Zauberlaterne.

Phantasmaskop, s. Stroboskopische Scheibe.

Phosphor (von φῶς, Licht, und φέρω, ich trage, also Lichtträger), ein einfacher Körper, zu den Nichtmetallen gehörend. Chemisches Zeichen = P. Aequivalent = 392,5 (O = 100) oder 31,6 (H = 1).

Wegen seiner großen Verwandtschaft zum Sauerstoff findet man den Phosphor als solchen in der Natur nicht, sondern meistens im oxydirten Zustande als Phosphorsäure mit Basen verbunden. Eigentliche phosphorsaure Verbindungen, wie z. B. Apatit (phosphorsaure Kalkerde, Chlor- und Fluorcalcium), Wagnerit (phosphorsaure Talkerde, Fluormagnesium), Wawellit (phosphorsaure Thonerde, Fluoraluminium), Mangan- oder Eisenpecherz (phosphorsaures Mangan- und Eisenoxydul), Grün- und Braunbleierz (phosphorsaures Bleioxyd, Chlor- und Fluorblei), octaëdrisches und prismatisches Phosphorkupfer (phosphorsaures Kupferoxyd) kommen selten in großen Massen vor. Aber dennoch sind die phosphorsauren Verbindungen sehr verbreitet; wir finden sie z. B. fast in sämmtlichen Kalk- und Thongesteinen und in den Eisenerzen. Durch die Verwitterung dieser Gesteine gelangt die Phosphorsäure in die Ackererde, von der sie einen nie fehlenden Bestandtheil bildet. Selbst dann, wenn sich die Phosphorsäure in kleinen Mengen der Ackererde kaum oder gar nicht nachweisen läßt, sind davon doch zur Ernährung der Pflanzen genügende Mengen enthalten. Besteht z. B. nur der zehntausendste Theil einer Ackererde aus Phosphorsäure, so enthält ein preußischer Morgen (180 Quadratruthen) bis zu einer Tiefe von 1 Fuß doch 310 Pfund Phosphorsäure. Forchhammer berechnet den Phosphorsäuregehalt der Ackererde für eine gleiche Masse sogar auf 515 Pfund*). Durch Schmelzen mit Kochsalz konnte derselbe aus den meisten plutonischen und metamorphischen Gesteinen und deren Verwitterungsproducten die Phosphorsäure ausziehen. Höchst wahrscheinlich spielt die Phosphorsäure bei der Wirkung des Mergels, den man so oft

*) Ann d. Chem. u. Pharm. Bd. XC. S. 322.

zum Düngen der Felder verwendet, eine große Rolle. Auch im Meerwasser findet sich phosphorsaurer Kalk.

Aus dem Boden geht die Phosphorsäure in die Pflanzen über. Namentlich die Cerealien sind sehr reich daran. Auch für den thierischen Körper bildet der Phosphor und seine Verbindungen einen wesentlichen Bestandtheil. Namentlich die Knochen bestehen größtentheils aus phosphorsaurem Kalk. Phosphorsaure Verbindungen finden sich außerdem fast in allen festen und flüssigen Theilen des thierischen Körpers. In einigen, wie z. B. im Gehirn, Eigelb und vielleicht auch im Eiweiß kommt der Phosphor auch in nicht oxydirtem Zustande vor. Auch im Harn soll dies nach Bonalds *) zum Theil der Fall sein.

Der Name Phosphor existirte in der Wissenschaft schon 100 Jahre früher, bevor der Körper, der heute diesen Namen ausschließlich führt, entdeckt wurde. (Vergl. d. Art. Licht, Bd. IV. S. 489.) Letzteres geschah 1669 durch einen bankerotten Hamburger Kaufmann, Namens Brand, der, um sein Leben zu fristen, sich dem Studium der Medicin gewidmet hatte und eifrig dem Stein der Weisen nachforschte. Die Darstellung des wunderbaren Körpers wurde sehr geheim gehalten, so daß Kunkel, der bald darauf sich in Hamburg aufhielt, darüber trotz aller aufgewendeten Mühe nichts erfahren konnte, außer, daß hierzu Urin verwendet werde. Dies genügte ihm und bald stellte auch er Phosphor dar. Obgleich Kunkel 1678 dem Phosphor eine eigene Schrift widmete, so unterließ auch er es bekannt zu machen, wie man bei der Gewinnung des Phosphor zu verfahren habe. Als Grund für dieses Schweigen giebt er an, daß bei der Bereitung und durch den Phosphor selbst viele Unglücksfälle stattfinden könnten. Neben Brand und Kunkel können wir in Folge des Geheimnisses, in welches Beide sich hüllten, auch den englischen Chemiker Boyle als Entdecker des Phosphor ansehen. Die Auffindung des Phosphor ist die wichtigste Entdeckung, welche uns das 17. Jahrhundert gebracht hat. Höfer hat jedoch nachgewiesen **), daß schon die ältesten Alchemisten ganz auf demselben Wege wie Brand lange vor dem 17. Jahrhundert den Phosphor aufgefunden haben. Daß die Kenntniß dieses merkwürdigen Körpers wiederum spurlos verloren ging, darf uns nicht wundern, da zu jener Zeit Jeder seine Geheimnisse für sich behielt und oft mit sich zu Grabe nahm.

Lange Zeit wurde der Phosphor ausschließlich aus dem Harn gewonnen, der jedoch nur eine sehr geringe Ausbeute liefert. So sollen z. B. drei Oxhoft Urin nur eine Unze Phosphor geliefert haben. Außerdem war diese Methode noch mit so großen Schwierigkeiten verknüpft, daß London für lange Zeit die einzige Quelle blieb, aus der der Phosphor zu beziehen war. In der neuesten Zeit hat sich das Verhältniß freilich umgekehrt; bis vor Kurzen bezog England den Phosphor aus Deutschland. Noch 1730 wurde in England eine Unze Phosphor mit 10 und in Amsterdam sogar mit 16 Ducaten bezahlt.

1770 zeigte Gahn, daß die Knochen zumeist aus phosphorsaurem Kalk bestehen und bald darauf gab Scheele eine Methode an, aus diesen den Phosphor darzustellen. Obgleich hier die Ausbeute eine viel größere ist, so blieb der Preis

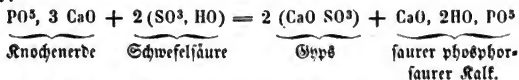
*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLI. S. 185.
**) Histoire de la chimie. Tom. I. p. 339.

des Phosphor, so lange er nur eine chemische Merkwürdigkeit oder Arzneimittel war, doch ein sehr hoher. Noch zu Anfang unseres Jahrhunderts bezahlte man die Unze mit 4 bis 5 Thlr., während heute das Pfund nur einen Thaler kostet.

Im Allgemeinen ist die Methode, nach der heute der Phosphor aus den Knochen fabrikmäßig dargestellt wird, noch dieselbe, wie von Anfang an. In den Knochen wird die organische Substanz durch Hitze zerstört. Gemeinhin nimmt man diese Operation in kleinen Schachtöfen, nach Art der Kalköfen, vor und ist die Zersetzung der organischen Substanz einmal eingeleitet, so dienen die Zersetzungsproducte als Brennmaterial. Man nimmt auch die Zerstörung der organischen Substanz in verschlossenen Gefäßen vor und sammelt die Producte der trockenen Destillation: Ammoniaksalze, empyreumatisches Oel (Thieröl genannt) und gasförmige Kohlenwasserstoffe, die zur Beleuchtung dienen. Der Rückstand der Knochen enthält noch Kohle und ist daher schwarz; in einem Flammofen wird die Kohle verbrannt, so daß der Rückstand eine weiße Farbe zeigt. Um die organische Substanz besser zu verwerthen, sucht man daraus Leim zu bereiten, entweder durch Kochen mit Wasser unter einem hohen Druck, oder indem man den phosphorsauren Kalk durch Salzsäure auflöst, wo dann die Knochen in ihrer Gestalt, aber von sehr weicher Beschaffenheit zurückbleiben, so daß sie sich nun leicht durch Kochen mit Wasser in Leim verwandeln.

Der Rückstand beim Brennen der Knochen beträgt 50 bis 55 Proc. Er besteht größtentheils aus basisch-phosphorsaurem Kalk, der, nachdem die gebrannten Knochen zu einem feinen Pulver verwandelt worden sind, mit Schwefelsäure zersetzt wird. Die Auflösung des phosphorsauren Kalkes in Salzsäure wird mit Kalk versetzt, damit sich gleichfalls basisch-phosphorsaurer Kalk ausscheide. Dasselbe geschieht, wenn man die saure Flüssigkeit mit kohlensaurem Ammoniak neutralisirt. Als Nebenproduct erhält man hier entweder Chlorcalcium oder Chlorammonium (Salmiak). Der auf nassem Wege durch Niederschlag dargestellte basisch-phosphorsaure Kalk läßt sich wegen seiner feinen Vertheilung leichter durch Schwefelsäure zersetzen, wie die sogenannte Knochenasche.

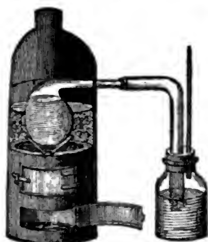
Die Zersetzung der letzteren ist ziemlich schwierig zu bewirken. Am besten wendet man das gleiche Gewicht einer Schwefelsäure an, welche 60 Proc. wasserfreie Säure enthält. Dies ist zwar mehr als die Rechnung verlangt, aber man kann auf einen vollständigeren Erfolg rechnen. Diese Operation nimmt man unter Beihülfe des $2^1/_2$fachen heißen Wassers in großen hölzernen Bottichen vor; die Dauer beträgt 48 Stunden, während welcher Zeit ein Arbeiter die Masse fleißig umrührt. Es bildet sich hier schwefelsaurer Kalk (Gyps), der sich ausscheidet, und saurer phosphorsaurer Kalk, der in Lösung bleibt, nach nachstehender Formel:



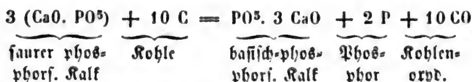
$$\underbrace{PO^5, 3\,CaO}_{\text{Knochenerde}} + \underbrace{2\,(SO^3, HO)}_{\text{Schwefelsäure}} = \underbrace{2\,(CaO\;SO^3)}_{\text{Gyps}} + \underbrace{CaO, 2HO, PO^5}_{\text{saurer phosphorsaurer Kalk.}}$$

Sobald sich der Gyps abgesetzt hat, zieht man die klare Flüssigkeit ab, während man den Rückstand mit Wasser auswäscht. Ist das Wasser nur schwach sauer, so rührt man damit neue Knochenerde an. Das beim Auswaschen zuerst ablaufende Wasser wäscht man mit der sauren Flüssigkeit und dampft diese in bleiernen Pfannen bis zur Syrupsconsistenz ab, wobei sich noch Gyps ausscheidet.

Den Syrup mischt man mit dem vierten Theil seines Gewichtes Kohlenpulver und trocknet das Gemenge allmälig aus, doch nicht bis zur staubigen Trockne, da die Praxis ergeben hat, daß ein geringer Wassergehalt eine größere Ausbeute an Phosphor gewährt. Das Gemisch bringt man noch warm in die Retorten aus feuerfestem Thon, die zu $^3/_4$ damit angefüllt werden. Die Retorten werden zu 4 bis 6 in einer Reihe in einen Flammofen oder in sogenannte Galeerenöfen paarweise zu beiden Seiten bis zu 36 Stück gesetzt; der Hals einer jeden Retorte führt in ein weites kupfernes Rohr (s. nebenstehende Figur), das in eine mit Wasser gefüllte Flasche oder thönerne Vorlage mündet. In letzterer befindet sich eine Oeffnung, aus der die bei der Destillation sich entwickelnden Gasarten entweichen können.



Beim Anfeuern wird die Hitze nur allmälig gesteigert; zuerst entweichen Luft und Wasserdampf, später bei höherer Temperatur bilden sich Kohlenoxyd und Wasserstoffgas. Dann heizt man stärker bis zur Weißglühhitze; dann entwickeln sich Kohlenwasserstoffgase und bald zeigt sich da, wo die Gase entweichen, eine weiße Flamme, die von Phosphorwasserstoffgas herrührt, das sich beim Austritt in die Luft entzündet. Diese Erscheinung ist ein Zeichen, daß jetzt auch Phosphor mit überdestillirt, der sich in der Vorlage unter dem Wasser ansammelt. Man hat jetzt darauf zu achten, daß sich der kupferne Vorstoß nicht verstopft, weshalb er öfters mit einem starken Draht auszuräumen ist. Die Operation währt bis zu 60 Stunden, d. h. so lange noch brennbare Gase auftreten. Die Zersetzung des sauren phosphorsauren Kalkes geschieht hier nach folgender Formel:

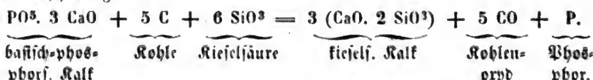


$$\underbrace{3\,(CaO.\ PO^5)}_{\text{saurer phosphorf. Kalk}} + \underbrace{10\ C}_{\text{Kohle}} = \underbrace{PO^5.\ 3\ CaO}_{\text{basisch-phosphorf. Kalk}} + \underbrace{2\ P}_{\text{Phosphor}} + \underbrace{10\ CO}_{\text{Kohlenoxyd.}}$$

Hieraus wird ersichtlich, daß nur $^2/_3$ von dem in der Masse enthaltenen Phosphor gewonnen werden kann. In der Praxis aber ist die Ausbeute geringer; in der Regel erhält man aus 100 Pfund gebrannten Knochen statt 11 Pfund nur 9 Pfund; der Rest geht durch den Bruch von Retorten, durch die Bildung von Phosphorwasserstoff und durch Verbrennen verloren. Der Verlust wird dadurch noch bedeutender, daß auch der basisch-phosphorsaure Kalk, der bei der Darstellung des Phosphor entsteht, verloren geht. Man könnte freilich bei der Zersetzung der Knochen durch eine größere Menge Schwefelsäure allen Kalk abscheiden, aber aus der reinen Phosphorsäure kann man nicht gut den Phosphor durch Kohle ausscheiden. Einmal würde sich eine große Menge der Phosphorsäure unzersetzt verflüchtigen und dann, da die freie Säure nicht wie das Kalksalz wasserfrei erhalten werden kann, würde auch eine große Menge Phosphor als Phosphorwasserstoff fortgehen.

Um den in den Knochen enthaltenen Phosphor vollständig zu gewinnen, hat Wöhler vorgeschlagen, die Knochen nur zu verkohlen, weil man dadurch einen großen Theil des Zersetzungsmittels (der Kohle) erspart. Dann sollte man die

Phosphorsäure aus dem Kalk nicht durch Schwefelsäure, sondern durch Kieselsäure (Sand) austreiben. Folgende Formel bringt den Vorgang der Zersetzung zur Ausschauung:



$$\underbrace{PO^5.\ 3\ CaO}_{\text{basisch-phosphors. Kalk}} + \underbrace{5\ C}_{\text{Kohle}} + \underbrace{6\ SiO^3}_{\text{Kieselsäure}} = \underbrace{3\ (CaO.\ 2\ SiO^3)}_{\text{kiesels. Kalk}} + \underbrace{5\ CO}_{\text{Kohlenoxyd}} + \underbrace{P.}_{\text{Phosphor.}}$$

In der Praxis aber stellten sich dieser Methode bedeutende Schwierigkeiten entgegen. Allerdings kann auf diese Weise eine vollständige Zersetzung der Knochen erzielt werden, aber die Temperatur, in der dieselbe erfolgt, ist zu hoch, so daß durch den Aufwand von Brennmaterial und Gefäßen, die besonders bei dieser großen Hitze leiden, das wieder verloren geht, was man mehr an Phosphor gewinnt. Deshalb sahen sich die Fabrikanten genöthigt, wiederum zu der alten von Nicolas und Pelletier angegebenen Methode zurückzukehren. Trotz der großen Mängel, die dieser Methode ankleben, gelangte man bei den erhöhten Anforderungen, die in jüngster Zeit an die Phosphorfabrikation gestellt werden, durch sie auf die einfachste und billigste Weise zum Ziele.

Bei alledem ist es doch in der That zu bewundern, daß man nicht weiter daran gedacht hat, die unverschuldeten und verschuldeten Mängel der alten Methode zu beseitigen. Außerdem daß die organische Materie der Knochen oft und ein Drittel von dem in letzteren enthaltenen Phosphor stets verloren geht, ist dasselbe auch von der Schwefelsäure zu sagen, denn der Gyps, der hierbei gewonnen wird, ist fast werthlos. Die Kosten der Schwefelsäure belaufen sich jedoch auf 39,13 Proc. der Gesammtkosten. Nach Fleck wurden in einer Phosphorfabrik in Zeit von 6 Monaten 945,47 Ctr. Schwefelsäure verbraucht, die mit 2434,67 Thlr. bezahlt wurden, während sich die Gesammtunkosten auf 6221,67 Thlr. beliefen. An Phosphor wurden gewonnen 78,8 Centner mit einem Werthe von 6955 Thlr., so daß der ganze Gewinn sich nur auf 733 1/3 Thlr. belief.

Cari Montrand hat darauf aufmerksam gemacht *), daß Salzsäure im gasförmigen Zustande dem mit Kohle gemischten sauren phosphorsauren Kalk in der Glühhitze allen Phosphor entzieht. Die Zersetzung geht hier nach folgender Formel vor sich:



$$PO^5.\ 3\,CaO + 8\ C + 3\,Cl\,H = 8\,CO + 3\,Ca\,Cl + 3\,H + P.$$

Auch Chlor wird bei geschickter Entwickelung des Gases vollständig von den Knochen absorbirt; hier geschieht die Zersetzung noch schneller und ebenfalls ganz vollständig. Der Chlorphosphor zerlegt sich in der Hitze in seine Bestandtheile, während bei Anwendung der gasförmigen Salzsäure, wenn die Hitze nicht hinreichend stark ist, etwas Phosphorwasserstoffgas entweicht, wodurch also ein Verlust an Phosphor herbeigeführt wird.

Mehr Beachtung verdienen die Vorschläge, welche Fleck in einer eigenen kleinen Schrift **) veröffentlicht hat. Man zerkleinert die frischen, gut gewaschenen und getrockneten Knochen auf einem Walzen- oder Stampfwerke, wobei

*) Compt. rend. T. XXXVIII. p. 864.

**) Verbessertes Verfahren der Phosphorfabrikation, mit genauer Angabe der bis jetzt gebräuchlichsten Fabrikationsmethoden. Leipzig 1855.

zugleich die ausfließende Marksubstanz gesondert wird. Dann zieht man das Fett durch heißes Wasser aus, und gewinnt auf diese Art eine gute Maschinenschmiere. Dann hängt man die Knochen in Körben in hölzerne Bottiche, die mit verdünnter Salzsäure gefüllt sind, und zieht so die phosphorsaure Kalkerde aus. Der Rückstand, die organische Materie, wird durch Kochen mit Wasser in Leim verwandelt.

Die größten Schwierigkeiten stellen sich beim Abdampfen der Lösung des phosphorsauren Kalkes heraus. Metallene Pfannen werden dadurch angegriffen; deshalb muß das Abdampfen in Pfannen von glasirtem Steingut vorgenommen werden. Solche aber sind ziemlich theuer. Prof. Stein legt auf diesen Umstand kein großes Gewicht, denn einmal ist der Ueberschuß an Salzsäure in dieser Flüssigkeit nicht sehr bedeutend, so daß er leicht durch den basisch phosphorsauren Kalk — den Rückstand aus den Retorten — fortgenommen werden kann, und dann schlägt Stein vor, sich, wie in der Alaunfabrikation, der gemauerten Pfannen zu bedienen. Beim Abdampfen verwendet man die bei der Reduction des Phosphor entweichende Wärme in der Art, daß die Flüssigkeiten von oben erhitzt und die entweichenden Dämpfe sofort durch den Luftzug fortgeführt werden, der die Hitze auch unter die Pfannen leitet.

Die Lauge wird so weit abgedampft, bis der phosphorsaure Kalk anfängt sich in Krystallen auf den Boden der Pfannen abzulagern; dann wird der Inhalt in hölzerne Bottiche abgelassen, in welchen die Abscheidung des Salzes beim Erkalten schnell vor sich geht. Die Mutterlauge wird weiter abgedampft und scheidet dann gleichfalls noch Krystalle von saurem phosphorsaurem Kalk ab. Aus der hier bleibenden Mutterlauge scheidet man den letzten Rest des phosphorsauren Kalkes durch Kalkmilch ab und vereinigt diesen Niederschlag dann mit dem Rückstand aus den Retorten. — Der krystallisirte saure phosphorsaure Kalk kann wegen seiner Löslichkeit nicht ausgewaschen werden. An Stelle des Auswaschens tritt die Presse; diese Operation erfordert einige Aufmerksamkeit, weil von dem Feuchtigkeitsgehalt der Masse die Ausbeute an Phosphor abhängt. Man mischt den phosphorsauren Kalk mit $^1/_4$ Holzkohlenpulver.

Als Retorten schlägt Fleck thönerne Cylinder vor, die, ähnlich wie die Retorten der Leuchtgasfabriken, zu je 5 über einer Feuerung angebracht sind. Die von den 5 Retorten ausgehenden Röhren münden in eine gemeinschaftliche Vorlage, welche die Gestalt einer Muffel hat und in eine Rinne gestellt ist, durch welche man Wasser fließen läßt. Die Vorlage steht mit einer zweiten in Verbindung. Das in den Retorten zurückbleibende Gemenge von phosphorsaurem Kalk mit Kohle wird auf Eisenplatten, die durch die Feuerluft des Phosphorofens erhitzt werden, eingeäschert und dann mit Salzsäure behandelt, wodurch man wieder sauren phosphorsauren Kalk erhält.

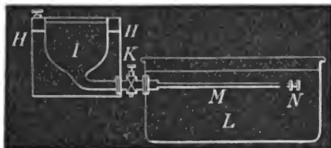
Nach diesem Verfahren erhält man aus 100 Pfund frischen Knochen 6 bis 7 Pfund Phosphor und 10 bis 20 Pfd. Leim, während man nach dem alten Verfahren nur 4 bis 5 Pfd. Phosphor gewinnt.

Der in Fabriken gewonnene Phosphor ist nicht rein; er enthält Kohle und andere Unreinigkeiten und ist deshalb nicht farblos und durchscheinend, wie er im Handel vorkommt. In früherer Zeit, wo die Fabrikation des Phosphor noch keine große Bedeutung hatte, bewirkte man die Reinigung dadurch, daß man den rohen Phosphor in Wasser von 60° C. schmolz und durch Gemsleder preßte.

Jetzt ist dieses Verfahren bedeutend modificirt worden. Man schmilzt den Phosphor in einem trichterartigen Gefäß, das in einem Wasserbade steht und dessen durchlöcherter Boden mit einer Schicht von Kohlenpulver bedeckt ist. Durch diese geht der geschmolzene Phosphor sehr leicht hindurch und wird dann durch einen Hahn in ein gleiches Gefäß abgelassen, dessen durchlöcherter Boden mit Leder bedeckt ist. Durch das Leder preßt man den Phosphor dadurch, daß man durch eine Pumpe heißes Wasser in das Gefäß preßt.

In den französischen Fabriken befolgt man eine andere Art mechanischer Filtration. Man preßt den geschmolzenen Phosphor mittelst Dampf durch poröse Steinplatten, die in einem eisernen Cylinder aufgestellt sind. Um das schnelle Unbrauchbarwerden der Platten durch Verstopfen der Poren zu verhindern, mengt man den Phosphor mit Kohlenpulver, in welchem die Unreinigkeiten zurückbleiben. Hierbei soll man nur 5 Proc. des rohen Phosphor einbüßen, so daß diese Methode der sonst noch gebräuchlichen Destillation des rohen Phosphor mit Sand aus gußeisernen Retorten vorzuziehen ist. Bei letzterer hat man darauf zu sehen, daß das anhängende Wasser bei gelinder Wärme verdampft, weil sich sonst Phosphorwasserstoff bildet. Je mehr man diese Gasentwickelung vermeidet, um so größer fällt die Ausbeute aus und um so länger bleibt der Phosphor beim Uebergehen klar und durchscheinend. Die letzten Portionen sind auch hier dunkler gefärbt, müssen also einer neuen Rectification unterworfen werden.

Die letzte Operation, die mit dem Phosphor vorgenommen wird, ist das Formen in Stangen. Diese Form scheint so alt zu sein, wie der Phosphor selbst. Hierzu wurde 1844 von Seubert ein eigener Apparat construirt. HH in nebenstehender Figur ist ein Wasserbad, in welchem ein großer Trichter I angebracht ist. Dieser mündet in den Hahn K aus und dient zum Schmelzen des Phosphor unter Wasser. Der Hahn steht mit einem anderen Gefäß L in Verbindung, das mit kaltem Wasser gefüllt ist. Von hier aus schiebt man in den Hahn eine passende Glasröhre M, die sich mit Phosphor füllt, sobald der Hahn geöffnet wird. Dann dreht man den Hahn zu und verschließt auch die Glasröhre mit dem Stöpsel N und läßt sie vollständig in dem Wasser erkalten, während man die Operation mit einer neuen Glasröhre fortsetzt. Dieser Vorschlag fand vielen Beifall und große Verbreitung; eben so schnell aber gab man ihn in den französischen Fabriken auch wieder auf. Man soll viel schneller zum Ziele kommen, wenn man den geschmolzenen Phosphor einfach mit dem Munde in Glasröhren aufsaugt, jedoch mit der Vorsicht, daß über dem Phosphor in der Röhre eine Schicht Wasser steht. Das Glasrohr, deren 12 bis 20 zur Disposition stehen, ist oben mit einem eisernen Ansatz und einem Hahn versehen, der zugedreht wird, sobald das über dem Phosphor stehende Wasser in den Ansatz eintritt. Ein geübter Arbeiter soll auf diese Art täglich 218 Pfd. Phosphor formen. Um der hier möglichen Gefahr zu entgehen, hat Dumas vorgeschlagen, das Aufziehen des Phosphor durch eine Kautschukblase bewerkstelligen zu lassen. Man befestigt diese an der Glasröhre, drückt sie zusammen, um die Luft daraus zu entfernen, und taucht nun



die Röhre in den geschmolzenen Phosphor. Hebt man den Druck auf, so schwillt die Blase wieder auf und zieht den Phosphor in die Höhe.

Die Stangenform hat etwas Unbequemes. Deshalb bringt man den Phosphor jetzt auch in Form von Tropfen oder Körnern in den Handel. Hierzu kann der eben beschriebene Apparat gleichfalls dienen. Auf das kalte Wasser in dem Gefäß L bringt man vorsichtig eine Schicht warmes Wasser von 45° C., welche den Hahn umgiebt. Man öffnet nun diesen so weit, daß der flüssige Phosphor in einzelnen Tropfen abfließt, welche in dem unteren kalten Wasser sogleich erstarren.

Jetzt endlich ist der Phosphor zum Uebergang in den Handel bis auf die Verpackung fertig, die wegen der leichten Entzündlichkeit des Phosphor in Folge einer Reibung oder Erwärmung besondere Vorsicht erfordert. Der Phosphor darf nur unter Wasser aufbewahrt werden. Dies geschieht bei größeren Massen entweder in gut verlötheten Blechbüchsen oder kleinen hölzernen Fässern. Die letzteren verdienen den Vorzug, weil durch das Aufquellen des Holzes durch das Wasser ein guter Verschluß mehr gesichert ist. Bei dem Transport der Blechbüchsen sind häufig Unglücksfälle passirt, indem die Löthung mancherlei Beschädigungen ausgesetzt ist. In neuerer Zeit ist diese Art der Verpackung auch verboten. Für den Winter muß man das Wasser mit Alkohol vermischen, um das Gefrieren, wodurch leicht die Gefäße auseinandergesprengt werden, zu verhüten.

Bei der gewöhnlichen Temperatur des Sommers ist der Phosphor weich wie Wachs, so daß er sich schneiden läßt und durch den Nagel Eindrücke annimmt; er ist ferner fast farblos und durchsichtig oder doch wenigstens durchscheinend. Beim längeren Aufbewahren unter Wasser wird der Phosphor durch die Einwirkung des Lichtes röthlichgelb, brüchig und undurchsichtig, indem er sich mit einer weißen Schicht bedeckt, die nach Einigen aus einer Verbindung des Phosphor mit Wasser bestehen, nach Anderen aber eine eigene Modification des Phosphor sein soll. Der Phosphor ändert sein Aeußeres überhaupt sehr leicht; so wird er nach Thénard ganz schwarz, sobald man ihn auf 70° erwärmt und plötzlich stark abkühlt. Die Umwandlung des gewöhnlichen Phosphor in schwarzen gelingt nicht immer; es scheint daß der Phosphor sehr rein und wiederholt destillirt sein muß. Auch der schwarze Phosphor wird als eine eigene Modification angesehen. Diese Veränderungen werden leicht wieder aufgehoben durch Erwärmen mit verdünnter Salpetersäure, schwacher Kalilauge oder einer mit Schwefelsäure versetzten Lösung von saurem chromsauren Kali. Der schwarze Phosphor kann auch durch Umschmelzen und langsames Abkühlen wieder in den gewöhnlichen verwandelt werden.

Der Phosphor ist sehr leicht schmelzbar; man darf ihn unter Wasser nur auf 44° erwärmen, während er erst bei 290° kocht und überdestillirt. Man kann den unter Wasser geschmolzenen Phosphor sehr leicht durch Schütteln bis zum Erkalten in ein feines Pulver verwandeln. Eine sehr gefährliche Eigenschaft des Phosphor ist seine leichte Entzündlichkeit an der Luft durch Erwärmung oder Reibung. Die Brandwunden, die dadurch verursacht werden, sind sehr bösartig und schmerzhaft, weil die bei der Verbrennung entstehende wasserfreie Phosphorsäure mit großer Begierde das Wasser aus den wunden Stellen an sich zieht und stark beizend wirkt. Bei Verbrennungen durch Phosphor sind Umschläge mit Wasser, welches gebrannte Magnesia oder einige Hunderttheile doppeltkohlensaures Natron enthält, wodurch die Phosphorsäure gesättigt wird, und Baden in Oel, in welchem

sich die etwa nicht verbrannten Phosphortheilchen auflösen, zu empfehlen. In Phosphorfabriken sind aus Vorsicht in den Räumen, in welchen der Phosphor destillirt, umgeschmolzen und geformt wird, große Wannen mit Wasser aufgestellt, damit bei vorkommenden Unglücksfällen die Arbeiter sogleich hineinspringen und ganz unter Wasser tauchen können.

Trotz dieser leichten Entzündung ist der Phosphor doch nicht so feuergefährlich, wie man im Allgemeinen zu glauben geneigt ist. Die sich bei der Verbrennung bildende nicht flüchtige Phosphorsäure überzieht die in der Nähe befindlichen Gegenstände mit einer schützenden Decke und verhindert das Uebertragen der Entzündung. Bedeckt man Phosphorstücke mit Baumwolle oder mit Papier, so wird beim Verbrennen des Phosphor nur eine Verkohlung der Baumwolle oder des Papiers eintreten, aber keine Verbrennung. In Papier eingewickelte Streichhölzer durch Stoß oder Hitze entzündet brennen ab, ohne das Papier zu entzünden.

Beim Schmelzen dehnt sich der Phosphor um 0,0314 seines Volumens aus. Die specifische Wärme des festen Phosphor ist nach Regnault *) zwischen — 78° und + 10° C. = 0,1740 und zwischen + 10° und + 30° C. = 0,1887 oder = 0,1788 nach Person **); die des flüssigen nach Person = 0,212. Nach Desains ist die specifische Wärme des festen und flüssigen Phosphor = 0,2. Die latente Schmelzwärme beträgt nach Person 4,7; nach Desains im Mittel 5,2. — Der Phosphor hat ein specifisches Gewicht von 2,08 (nach Böttger) bei 17°; von 1,83 (nach Schrötter) bei 10° C.

Durch Schmelzen kann der Phosphor nicht krystallisirt erhalten werden; wohl aber aus Auflösungen in heißer Naphta, Chlorschwefel und Schwefelkohlenstoff. Die aus dem letzteren erhaltenen Krystalle hat man für künstliche Diamanten ausgegeben. Mitscherlich erhielt Rhombendodekaëder von Phosphor aus Schwefelphosphor. — In Wasser ist der Phosphor unlöslich, in Alkohol kaum, in Aether, Fetten und flüchtigen Oelen nur wenig löslich.

In chemischer Beziehung steht der Phosphor dem Schwefel, Arsen und Antimon sehr nahe, in manchen Verbindungen bietet er auch Analogien mit dem Stickstoff. Die leichte Entzündbarkeit deutet darauf hin, daß der Phosphor eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff besitzt. Der Phosphor unterliegt beim Zutritt der Luft, selbst bei 0° C., einer langsamen Verbrennung; er ist dann von einem weißen Rauch eingehüllt, der sich unaufhörlich erneuert. Dieser Rauch leuchtet im Dunkeln, woher auch der Phosphor seinen Namen hat. Nach und nach wird ein kleines Stück Phosphor von der Luft ganz verzehrt. Schreibt man mit Phosphor auf einer Mauer, so leuchten die Schriftzüge einige Zeit im Dunkeln, bis die Phosphortheilchen, die an der Mauer hängen blieben, aufgezehrt sind.

Dieser merkwürdigen Eigenschaft verdankt der Phosphor seine große Berühmtheit, die er in früherer Zeit genoß. Durch sie zog er die Aufmerksamkeit der Chemiker in einem hohen Grade auf sich. Aber dennoch hat man sich lange Zeit über die Ursache dieses Leuchtens gestritten. Berzelius nahm zuerst an,

*) Jahresb. von Liebig u. Kopp 1849. S. 31.
**) Jahresb. von Liebig u. Kopp 1847 u. 48. S. 73.

daß die Lichtentwickelung in Folge einer Verdampfung des Phosphor stattfinde. Marchand glaubte diese Ansicht durch eine Reihe von Versuchen bewiesen zu haben *). Und doch machte er trotz dieser Gewißheit wiederum einen Unterschied. Er sagt nämlich, daß das Leuchten des Phosphor an der Luft oder im Sauerstoffstrome anderer Art sei wie in anderen Gasarten. Im erstern Fall sollte auch ein wirkliches Verbrennen stattfinden. Bei dieser Ungewißheit wurde Schrötter 1853 zu neuen Versuchen veranlaßt **), aus denen er mit der größten Bestimmtheit folgert, daß eben nur der Sauerstoff das Leuchten des Phosphor bewirkt. Allerdings findet auch eine Verdunstung des Phosphor statt, aber nicht der Phosphordampf an und für sich leuchtet, sondern nur bei Gegenwart von Sauerstoff. Des letzteren bedarf es nur äußerst geringer Mengen und deshalb ist es auch leicht erklärlich, warum bei Marchand's Versuchen der Phosphor im Wasserstoff- und Kohlensäurestrome leuchtete. Aller erdenklichen Vorsicht zum Trotze, die Marchand anwendete, um sich gegen die Anwesenheit von Sauerstoff zu schützen, schlich sich dieser doch ein durch die Korke und Kautschukröhren, die zur Verbindung der einzelnen Theile des Apparates dienten. Im luftleeren Raum kann man den Phosphor selbst sublimiren, ohne daß er leuchtet.

Die meisten Nebel, welche der Phosphor an der Luft aushaucht, verbreiten einen knoblauchartigen Geruch, der jedoch nach Schönbein nicht dem Phosphor eigenthümlich sein, sondern von der Bildung von Ozon herrühren soll. Erfolgt die Oxydation des Phosphor in vollkommen trockner Luft, so bildet sich auf dem Phosphor ein dichter Ueberzug von phosphoriger Säure, welcher die weitere Oxydation verhindert. Ist die Luft aber feucht, so zieht die phosphorige Säure Wasser an und zerfließt. Bei einem gehörigen Vorrath von Sauerstoff zerfließt nach und nach aller Phosphor.

In Folge der großen Verwandtschaft des Phosphor zum Sauerstoff erfolgt die Oxydation des ersteren oft durch Zerlegung anderer Oxyde. Bei höherer Temperatur zerlegt er selbst Wasser, leichte Salpetersäure und ähnliche Verbindungen. Salpetersaure und chlorsaure Salze bewirken die Entzündung des Phosphor schon beim Reiben oder Schlagen. Beim Kochen mit Alkalien erfolgt Oxydation des Phosphor unter gleichzeitiger Bildung von Phosphorwasserstoffgas. Werden die alkalischen Erden bei Glühhitze mit Phosphordämpfen in Berührung gebracht, so bilden sich phosphorsaure Salze und Phosphormetalle. Unter gleichen Umständen wird die mit Alkalien verbundene Kohlensäure zerlegt, so daß sich Kohle abscheidet. Der Phosphor reducirt auch manche schwere Metalloxyde auf nassem Wege bei gewöhnlicher Temperatur. Man benutzt dieses Verhalten in der Galvanoplastik, um die nicht leitende Oberfläche der Formen mit einem Metallüberzuge zu versehen.

Der Phosphor verbindet sich auch direct mit Schwefel, Chlor, Jod, Brom und mit manchen Metallen. Gewissen Metallen, denen Phosphor beim Schmelzen zugesetzt wird, ertheilt er eine ganz besondere Festigkeit, während dieselben im geschmolzenen Zustande sehr dünnflüssig sind. Kupfer, entweder für sich allein oder mit Zink, oder mit Zink und Nickel unter einer schützenden Decke mit 5 Proc.

---

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. L. S. 1.
**) Bericht. d. Wien. Akad. Bd. IX. S. 414.

Phosphor zusammengeschmolzen, verarbeitet man zu Futteralen und Scheiben aller Art, ferner zu Druckwalzen, Verzierungen und Figuren, deren Haupterforderniß Härte und Dauerhaftigkeit sind. Für in Metallformen zu gießende Artikel oder wo überhaupt sonst eine glatte Oberfläche gefordert wird, setzt man Mischungen aus Zinn, Blei, Wismuth, Kupfer, oder Blei, Antimon, Kupfer, Zinn oder Zink, Kupfer oder Blei, Arsenik, Kupfer 2 bis 5 Proc. Phosphor zu. Solche Mischungen kann man sogar zu Schneidewerkzeugen verarbeiten. Durch den Zusatz von Phosphor sind die angeführten Legirungen weniger der Orydation in der feuchten Luft (dem Rosten) ausgesetzt.

Auf das Eisen übt die Gegenwart des Phosphor einen sehr nachtheiligen Einfluß aus, sobald die Menge desselben 0,3 Proc. übersteigt. Daher rührt die fehlerhafte Eigenschaft der Kaltbrüchigkeit bei vielem Stabeisen; ein solches Eisen läßt sich zwar glühend verarbeiten, bricht aber, wenn es kalt ist, schon beim Biegen. Ein geringerer Phosphorgehalt macht das Eisen härter und raubt ihm keine seiner guten Eigenschaften. So soll z. B. das vorzügliche russische mit CCND bezeichnete Eisen von den Demidoff'schen Eisenwerken bei Nischnetagilsk seine Güte dem Gehalt an Phosphor verdanken. Man nimmt gegenwärtig allgemein an, daß beim Hohofenbetrieb mit heißem Winde ein Roheisen von geringerer Güte ausgebracht wird, weil hier mehr Phosphor reducirt wird, als bei Anwendung eines kalten Windes. Am bedeutendsten ist der Gehalt an Phosphorsäure im sogenannten Wiesenerz (Raseneisenstein), wodurch es erklärlich wird, daß es so sehr schwer hält, aus diesem Erz ein gutes Eisen darzustellen.

Die nachtheilige Einwirkung des Schwefels auf das Eisen wird bis zu einem gewissen Grade hin durch den Phosphor aufgehoben *). Dadurch dürfte auch zum Theil die bekannte Erfahrung zu erklären sein, daß es für die Qualität sowohl das Guß- als auch das Stabeisens günstig ist, wenn als Material für ihre Erzeugung Erze verschiedener Art verwendet werden. Der Phosphor scheint jedoch nicht den Schwefel direct auszutreiben, sondern mehr indirect, indem der Phosphor sich mit dem Eisen verbindet und dadurch Kohlenstoff frei macht, der mit dem Schwefel eine leichtflüchtige Verbindung eingeht.

Gewöhnlich ist der Phosphor nicht chemisch rein. Er enthält meistens etwas Schwefel. Schon $^1/_{1000}$ desselben macht den Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur spröde. Orydirt man den Phosphor durch Salpetersäure, so kann man die Gegenwart des Schwefels leicht durch salpetersauren Baryt nachweisen. Auch Arsen ist oft in dem Phosphor enthalten, wenn die zur Zersetzung der Knochen dienende Schwefelsäure solchen enthielt. Dampft man die Lösung des Phosphor in Salpetersäure ein, so scheidet sich das Arsen als schwarzes Pulver aus; entfernt man die überschüssige Salpetersäure dieser Lösung durch Abdampfen und löst man den Rückstand in Wasser, so fällt auf Zusatz von Schwefelwasserstoffwasser nach einiger Zeit gelbes Schwefelarsen daraus nieder. Nach Wöhler sollen beide Verunreinigungen dem Phosphor durch Schütteln mit einer warmen Lösung von doppeltchromsaurem Kali und Schwefelsäure entzogen werden. Zuweilen soll der Phosphor auch Antimon enthalten; dann fällt mit dem Schwefelarsen auch das Schwefelantimon nieder.

*) Annal. des mines. [5] T. VI. p. 149.

Die hauptsächlichste Anwendung findet der Phosphor, wegen seiner leichten Entzündlichkeit beim Reiben, zu Reibzündhölzern und Reibzündschwamm (vergl. d. Art. Feuerzeuge, Bd. III. S. 191). In Frankreich werden z. B. zu diesen winzigen Hölzchen nach Payart jährlich 580 Ctr. Phosphor verbraucht, während der ganze übrige Verbrauch an Phosphor sich nur auf 210 Pfd., also ungefähr auf den 300sten Theil von jenem beläuft. In Oesterreich, wo die Fabrikation der Streichzündhölzer zu einer großen Ausdehnung gelangt ist, wurde 1850 325 Ctr. Phosphor dazu verbraucht. In bedeutenden Mengen wird der Phosphor auch zur Vertilgung der Ratten und Mäuse verwendet. Otto giebt an, daß in einem Jahre, wo die Feldfrüchte durch eine enorme Menge von Mäusen im hohen Grade gefährdet waren, in einer kleinen braunschweigschen Landstadt vierzig und einige Pfund Phosphor zu diesem Zweck verbraucht worden sind. In Verbindung mit Mehlteig (1 Quentchen Phosphor auf 1 Pfund Mehl und Wasser) wird der Phosphor mit so großer Begierde von den genannten Thieren gefressen, daß man diesen Umstand sogar gegen den vielfach gepriesenen Instinct der Thiere geltend zu machen versucht hat. Noch lieblicher dünkt den Ratten und Mäusen diese Speise, wenn man statt des Wassers eine Abkochung von Mehl nimmt oder wenn man einen Theil des Mehles röstet. Ein Zusatz von Zucker, oder Anisöl oder Moschus als Witterung zur Anlockung ist ganz überflüssig. Der Phosphorbrei ist jedoch dem Verderben ausgesetzt, so daß er sich nach einiger Zeit weniger wirksam oder auch ganz unwirksam zeigt. Um dem Verderben vorzubeugen, nimmt man statt des gewöhnlichen Mehles Stärkemehl oder man setzt dem ersteren Senfpulver zu, das die Wirksamkeit des Mittels für längere Zeit erhalten soll. Beim Gebrauch desselben ist jedoch einige Vorsicht anzurathen; das Gift ist nur an solche Orte zu legen, die für andere, besonders nützliche Hausthiere unzugänglich sind, da auch diese mit derselben Begierde darüber herfallen. So berichtete man vor einigen Jahren aus Thüringen, daß auf zwei großen Gehöften sämmtliche Hühner zu Grunde gegangen seien, weil auch sie von dem Phosphorbrei genascht hatten.

Dieses Mittel war bereits 1828 in Italien bekannt. Ein umherziehender Kammerjäger fertigte dasselbe als Geheimmittel an und fand einen bedeutenden Absatz. Durch einen Juden, der jenem Italiener diente und diesem das Geheimniß abgesehen hatte, kam das Mittel einige Jahre später nach Deutschland. Auch hier fand es nicht allein seiner Wirksamkeit wegen, sondern auch aus dem Grunde einen sehr großen Beifall und allgemeine Anwendung, weil man glaubte, daß dadurch der weiße Arsenik, in früherer Zeit das Hauptmittel zur Vertilgung der Ratten und Mäuse, und daher auch sehr oft bei vorsätzlichen Vergiftungen gemißbraucht, entbehrlich werde, also weniger in die Hände des Publikums gelange. Sonderbar, daß selbst die Regierungen der Abgabe des zu diesem Zweck zubereiteten Phosphor durchaus kein Hinderniß in den Weg legten, obgleich doch schon längst bekannt war, daß der Phosphor gleich dem Arsenik zu den heftigsten Giften zu rechnen sei. Ein Mißbrauch des Phosphor ließ auch nicht lange auf sich warten, so daß man sich genöthigt sah, hier dieselben Beschränkungs- und Vorsichtsmaßregeln eintreten zu lassen, wie sie bei der Abgabe des Arseniks schon längst gebräuchlich sind.

Der Phosphor, direct in den Organismus gebracht, wirkt als ein so starkes Gift, daß ein Arzt den Tod eines erwachsenen Menschen schon nach einer Gabe von 2 Gran erfolgen sah. Einen solchen Ausgang nimmt jedoch nicht jede Phos-

phorvergiftung, die je nach der Einhüllung und dem Grade der Zertheilung, in welcher der Phosphor in den Magen gelangt, und je nach dem Zustande des Magens selbst, ob dieser geleert oder angefüllt ist, an Wirkung eine sehr verschiedene ist. Der Phosphor in Substanz oder in Pillen oder in einen zähen Mehlbrei eingehüllt, wirkt bedeutend langsamer, als wenn er, in einem fetten Oel in den Körper eingeführt worden ist; eine Auflösung des Phosphor in ätherischen Oelen oder Aether wirkt am schnellsten.

Mehr noch als durch den Phosphorbrei gelangt das gefährliche Gift durch die Streichzündhölzer leicht in die Hände eines Jeden. In Frankreich wird davon leider ein sehr ausgedehnter Gebrauch gemacht; bei uns aber gehören Vergiftungen durch Phosphor doch noch zu den Seltenheiten. Schacht führt z. B. an, daß in den sechs Jahren seiner amtlichen Thätigkeit als Chemiker bei den Berliner Stadt- und Kreisgerichten, die eine Einwohnerzahl von $^1/_2$ Mill. umfassen, nur zwei Fälle versuchter oder vollführter Vergiftung durch Phosphor vorgekommen sind.

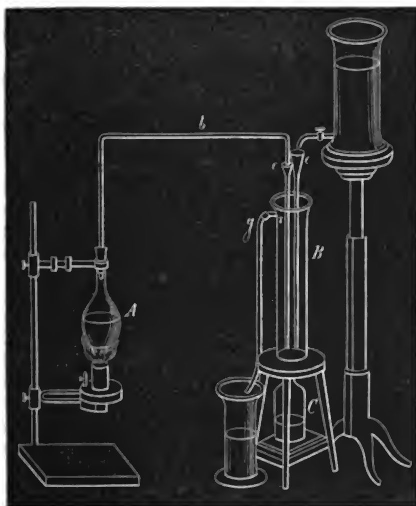
Es ist bis jetzt noch nicht gelungen, ein sicheres Gegengift aufzufinden. Allgemein werden als Gegenmittel angeführt: Brechmittel mit vielem schleimigen Getränk, dann gebrannte Magnesia mit Wasser, um die entstandenen Säuren des Phosphor zu sättigen, also deren Wirkung zu lähmen. Die Wirksamkeit dieser Mittel ist aber sehr problematisch. Als unfehlbar wird von Bechert *) eine Mischung von 1 Th. gebrannter Magnesia mit 8 Th. Chlorwasser angegeben. Leider aber ist diese Angabe durch Versuche, welche Schrader und Hofmann **) angestellt haben, durchaus nicht bestätigt worden. Den beiden letzteren gelang es nicht ein einziges der vergifteten Thiere zu retten. Die tödtliche Wirkung des Phosphor griff weit rascher um sich, als die chemische Thätigkeit des Heilmittels sich gegen den Phosphor geltend machte.

Am sichersten läßt sich die Thatsache der Vergiftung constatiren, wenn noch unoxydirter Phosphor aufgefunden werden kann. Dies wird dadurch erleichtert, daß man die ganze Masse in einer Retorte mit Vorlage erwärmt, wobei der geschmolzene Phosphor sich in Tropfen zu Boden setzt. Oder es zeigt sich beim Erwärmen der verdächtigen Substanz die Gegenwart von Phosphor dadurch, daß im Dunkeln ein Leuchten bemerkbar wird. Mit Wasser destillirt, wird das Destillat die Reaction auf Phosphorsäure zeigen (Schacht) ***). Nach Ligowitz ****) kann man sehr kleine Mengen von Phosphor (bis zu $^1/_{140000}$) dadurch nachweisen, daß man die verdächtige Masse mit sehr wenig Schwefel erhitzt. Der letztere nimmt den Phosphor auf und nach dem Erkalten findet man die Stückchen auf dem Boden des Gefäßes. Erwärmt man diese Schwefelstückchen im Dunkeln, so leuchten sie; diese Eigenschaft geht aber verloren durch längeres Aufbewahren unter Wasser. Aber dann kann man durch Behandlung mit Salpetersäure den Phosphor oxydiren und sehr leicht die Gegenwart der Phosphorsäure nachweisen. — Ist längere Zeit nach der Vergiftung vergangen, so kann nur noch

*) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXVII. S. 273.
**) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXXXIII. S. 146.
***) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXVI. S. 165.
****) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 600.

das Vorhandensein ungewöhnlich großer Mengen und freier Phosphorsäure auf Vergiftung durch Phosphor schließen lassen.

Bei den gerichtlichen Untersuchungen zur Feststellung der Thatsache der Vergiftung hat sich jedoch eine solche Unsicherheit herausgestellt, daß sich jüngst bei Gelegenheit einer zweifelhaften Vergiftung das preuß. Medicinalcollegium veranlaßt fand, Mitscherlich mit Versuchen zur Entdeckung des Phosphor zu beauftragen *). Nach ihm besteht das empfindlichste Mittel, Phosphor zu entdecken, darin, daß man die verdächtige Substanz mit etwas Schwefelsäure und der gehörigen Menge Wasser versetzt und in einem Kolben A (s. beistehende Figur) der Destillation unterwirft. Durch b und c treten die entweichenden Dämpfe in den



Kühlapparat B, wo sie in Folge des durch den Trichter e vom Boden aufsteigenden Stromes kalten Wassers, der das erwärmte Wasser durch g verdrängt, verdichtet werden und in das Gefäß C abfließen. Da, wo die Dämpfe oben bei r in den abgekühlten Theil des Kühlrohrs eintreten, bemerkt man im Dunkeln fortwährend das deutlichste Leuchten, gewöhnlich einen leuchtenden Ring. Sobald nur $^1/_{1000}$ Proc. oder ein $^1/_{100000}$ der Masse Phosphor zugegen ist, kann die Destillation über eine halbe Stunde fortgesetzt werden, ohne daß das Leuchten aufhört. Bei einem dieser Versuche wurde die Destillation unterbrochen und der Kolben offen 14 Tage hingestellt und darnach wurde bei erneuerter Destillation das Leuchten

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 238.

eben so vollständig wie vorher beobachtet. Aether, Alkohol und Terpentinöl verhindern das Leuchten des Phosphor. Die beiden ersteren sind jedoch sehr leicht flüchtig, destilliren daher sehr bald ab und dann tritt auch das Leuchten auf. Eine Beimengung von Terpentinöl möchte bei gerichtlichen Untersuchungen nicht leicht vorkommen. Ammoniak äußert dieselbe Wirkung; hier aber stört die Gegenwart desselben nicht, da es durch die Schwefelsäure gebunden wird.

Am Boden der Flasche, in welche das Destillat abfließt, findet man Phosphorkügelchen. Aus 10 Loth einer Masse, der nur ein drittel Gran Phosphor zugesetzt worden war, wurden so viel Phosphorkügelchen erhalten, daß der zehnte Theil hinreichend gewesen wäre, um sie als Phosphor zu erkennen. Ist sehr viel Phosphor vorhanden, so bildet sich durch Oxydation eines Theiles des übergegangenen so viel phosphorige Säure, daß sie durch salpetersaures Silberoxyd und Quecksilberchlorid nachgewiesen werden kann. Aus diesen Reactionen aber kann man keinen Beweis für die Vergiftung durch Phosphor entnehmen, wenn nicht der Phosphor in Substanz nachgewiesen ist, und dann sind sie überflüssig. Früher legte man auf die Reactionen großen Werth, indem man meinte, daß, da weder die phosphorige noch die Phosphorsäure mit Wasserdämpfen sich verflüchtige, so können beide in dem Destillat nur durch die Oxydation der Phosphordämpfe selbst entstanden sein, und dadurch hielt man die Gegenwart von Phosphor in Substanz für bewiesen. Mitscherlich hat aber gezeigt, wie wenig zuverlässig diese Ansicht ist. Verdünnte Phosphorsäure mit etwas Staub aus einem unbewohnten, der Straße zugekehrten Raum der Destillation unterworfen, zeigte dieselben Reactionen. Die Reduction des Silberoxyds und die Bildung von Quecksilberchlorür rührt hier also von Destillationsproducten des Staubes her, welche mit den Wasserdämpfen übergehen. Substanzen, die diese Zersetzungen bewirken, können sehr leicht bei der Destillation thierischer Stoffe und Nahrungsmittel, mit denen man es bei Vergiftungsfällen zu thun hat, mit den Wasserdämpfen übergehen, besonders wenn ein Zersetzungsproceß durch Gährung oder Fäulniß bereits begonnen hat. Wie leicht dieser Umstand zu beklagenswerthen Irrungen führen kann, geht daraus hervor, daß das auf diese Weise erhaltene vermeintliche phosphorsaure Silberoxyd, welches als Beweismittel an das Gericht eingesendet worden war, sich bei näherer Prüfung in zwei Fällen nicht als solches auswies.

Oben haben wir bereits angeführt, daß der Phosphor sich am Licht röthlich färbt. Dieselbe Veränderung erleidet er durch Wärme in viel kürzerer Zeit. Erwärmt man den Phosphor bei Abschluß von Wasser und Luft längere Zeit auf 250° C., so verwandelt er sich in rothen oder sogenannten amorphen Phosphor. Schrötter hat sich durch das Studium dieser neuen Modification des Phosphor ein großes Verdienst erworben *). Man erhitzt den gewöhnlichen Phosphor in einem nicht zu großen Glaskolben, der mit einem 30 Zoll langen abwärts gebogenen Rohr, das in Quecksilber taucht, luftdicht verbunden ist. Um eine Temperatur von 240 bis 260° C. für längere Zeit gleichmäßig zu unterhalten, wendet man ein Oelbad an, das wiederum in einem Sandbade steht.

*) Bericht. d. Wien. Akad. Bd. I. S. 130.

Während der gewöhnliche Phosphor farblos und durchscheinend ist, besitzt der amorphe Phosphor neben der vollständigsten Undurchsichtigkeit eine dunkelrothe Farbe. Man erhält ihn entweder in compakten Massen oder als ein glanzloses, scharlachrothes bis dunkelcarmoisinrothes, zuweilen fast dunkelbraunes Pulver. Der amorphe Phosphor ist ganz und gar von den gefährlichen, leicht entzündbaren und höchst giftigen Eigenschaften des gewöhnlichen Phosphor befreit, während er die nützlichen in gleichem Maße darbietet. Er bleibt an der Luft ganz unverändert und kann daher in Fässern und Kisten mit Sägespänen verpackt versendet werden. Er entzündet sich nur erst bei einer Temperatur über 200° C. und bildet beim Verbrennen ein schönes Schauspiel, indem er vielfache Funken umherwirft. Ihm fehlt sogar die Eigenschaft, die dem Phosphor den Namen gegeben hat. Der amorphe Phosphor leuchtet im Dunkeln bei gewöhnlicher Temperatur nicht. Erst beim Erhitzen über 200° C. zeigt er ein schwaches Leuchten, welches beim Erkalten sogleich wieder verschwindet. Daß sich der amorphe Phosphor gegen den Organismus ganz indifferent verhält, ist jüngst durch Versuche von Orfila und Bigout *) auf das Entschiedenste dargethan. Ein kräftiger Hund bekam 3 Tage hinter einander täglich eine Dosis von 2 Grm. rothem Phosphor, am 4. Tage eine solche von 5 Grm., ohne daß sich in den nächsten 7 Tagen irgend ein Nachtheil in seiner Gesundheit offenbarte. Darauf erhielt er wieder täglich 2 Grm., so daß er ohne den geringsten Schaden zu erleiden im Ganzen 36 Grm. (2,46 Loth) rothen Phosphor gefressen hatte, während er darauf durch 2 Grm. des gewöhnlichen Phosphor getödtet wurde. Eine kräftige ganz gesunde Hündin erhielt 10 Grm. rothen Phosphor auf einmal. Tags darauf fraß sie nicht, aber Zeichen von Leiden ließen sich durchaus nicht erkennen. Am 3. Tage steigerte man die Dosis auf 50 Grm.; das Thier fing an zu brechen, war aber Tags darauf wieder ganz munter. Im Ganzen fraß die Hündin ohne den ausgebrochenen Phosphor in 12 Tagen 200 Grm., also über $13^1/_2$ Loth und blieb dennoch ganz gesund. Nach der Tödtung fand man im Darmkanal nicht die mindeste Verletzung.

Die Unterschiede zwischen dem gewöhnlichen und amorphen Phosphor sind also so groß, wie sie oft selbst nicht bei zwei ganz verschiedenen Körpern auftreten. Dergleichen finden wir bei den verschiedenen Modificationen ein und desselben Körpers öfters. Wir erinnern hier nur an die Kohle; größer wie zwischen der gemeinen Kohle und dem Diamanten ist die Verschiedenheit beim Phosphor auch nicht. Zudem läßt sich der amorphe Phosphor sehr leicht wieder in den gewöhnlichen überführen. Dies geschieht durch Destillation; eine Veränderung in dem Gewicht tritt hierbei nicht ein. Die leichte Umwandlung aus dem einen Zustande in den anderen hat bewirkt, daß man mit Schrötter jetzt allgemein annimmt, der amorphe Phosphor sei eben nur eine Modification des gewöhnlichen, während man früher geneigt war, wegen des großen Unterschiedes in den Eigenschaften, den ersteren für ein niederes Oxyd zu halten.

Specifisches Gewicht der festen Massen = 2,1, des Pulvers = 1,96 (Schrötter) oder 2,14 (Brodie). Specifische Wärme = 0,1698, also merklich geringer, als die des gewöhnlichen Phosphor (Regnault). Der rothe Phosphor ist in den Lösungsmitteln des gewöhnlichen unlöslich; nur Flüssig-

*) Compt. rend. T. XLII. p. 201.

keiten, die bei höherer Temperatur sieden, lösen etwas davon auf, weil hier wohl eine Umwandlung in den gewöhnlichen Phosphor stattgefunden hat. Concentrirte kochende Kalilauge löst den amorphen Phosphor leicht; es entwickelt sich hierbei nicht selbstentzündliches Phosphorwasserstoffgas. Vor der Lösung verändert sich die Farbe des Phosphor in braun oder schwarz.

Mit Chlor verbindet sich der amorphe Phosphor schon bei gewöhnlicher Temperatur; mit Brom desgleichen; mit Jod aber erst beim Erwärmen, aber ohne Lichtentwickelung. Mit Schwefel verbindet er sich erst bei 200 bis 230° C. Durch Salpetersäure oder concentrirte Schwefelsäure wird der amorphe Phosphor aufgelöst, wobei sich Stickstoffoxyd oder schweflige Säure entwickelt.

Es scheint, daß die Gegenwart selbst nur geringer Mengen Jodphosphor den gewöhnlichen Phosphor leicht in die rothe Modification überführt *). Die Fähigkeit des Jod, diese Umwandlung zu bewirken, zeigt sich noch, selbst wenn man auf 100 Th. Phosphor nur 1 Th. Jod anwendet. Diese von Brodie dargestellte Modification unterscheidet sich von der Schrötter's dadurch, daß er manche Metallsalze, wie Kupfervitriol, fällt und daß er unverändert überdestillirt. Vielleicht bildet sich hierbei gewöhnlicher Phosphor, der aber durch die Einwirkung des mit überdestillirenden Jodphosphor wieder modificirt wird. Durch Coremvindes **) und Riegel ***) ist noch auf andere Art rother Phosphor dargestellt worden; Brome ****) erhielt ihn sogar krystallisirt. Ob aber die auf verschiedene Weise erhaltenen Modificationen des rothen Phosphor identisch sind, ist bis jetzt noch nicht entschieden.

Nach den angegebenen Eigenschaften des amorphen Phosphor ist es einleuchtend, wie wichtig er für die Fabrikation der Zündhölzer mit der Zeit werden muß. Bei seiner Verwendung werden die gefährlichen Krankheiten vermieden, welche die Dämpfe des gewöhnlichen Phosphor in diesen Fabriken verursachen *****); ferner besitzen dann die Zündhölzer alle die Vortheile, die der amorphe Phosphor selbst in Bezug auf Verpackung und Transport darbietet. Weitere gute Eigenschaften sind, daß solche Reibzünder nicht riechen, nicht leicht feucht werden und sich selbst nicht in einer ziemlich hohen Temperatur entzünden. Eben so wenig kann man diese Streichhölzer zu einer Vergiftung mißbrauchen.

Alle diese Vortheile erkannte man zuerst in England in Folge der Londoner Ausstellung und von hier aus kam auch der erste amorphe Phosphor in größerer Menge in den Handel. Man bereitet den rothen Phosphor im Großen nach einem ganz ähnlichen Verfahren wie im Kleinen †). Steck erhitzt den Phosphor, der luftdicht in einem Gefäß von Glas oder Porzellan eingeschlossen ist, in einem eisernen Kessel längere Zeit auf 260° C. Der Kessel steht in einem Sandbade, und dieses ist wieder mit einem Metallbad (aus Blei und Zinn) umgeben. Aus dem Gefäß, welches den Phosphor enthält, geht ein gebogenes, mittelst eines Hahns verschließbares Rohr unter Quecksilber oder Wasser.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 337.

**) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXX. p. 242.

***) Jahrb. f. Pharm. Bd. XXV. S. 331.

****) Compt. rend. T. XXXV. p. 728.

*****) v. Bibra und Geist, die Krankheiten der Arbeiter in den Phosphorzündholzfabriken. Erlangen 1847.

†) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXIV. S. 271.

Obgleich das Verhalten des amorphen Phosphor zu einigen Metalloxyden darauf hindeutet, daß er sich mit Vortheil statt des gewöhnlichen Phosphor zu Zündmassen anwenden lasse, so hat er indessen bis jetzt keine allgemeine Verwendung gefunden. An Versuchen hat es jedoch nicht gefehlt. Jetzt machen die sogenannten Antiphosphor-Streichhölzchen, die zuerst aus den Nürnberger und österreichischen Fabriken hervorgegangen sind, viel von sich reden. Bei ihnen kommt amorpher Phosphor in Anwendung, doch hat man hier einen neuen Weg eingeschlagen. Der Phosphor befindet sich nicht in der Zündmasse der Hölzchen, sondern er ist mit Sand und Metalloxyden gemischt auf eine Fläche aufgetragen, auf der sich die Hölzchen beim Reiben entzünden. Die Hölzchen überzieht man zuerst auf dem einen Ende mit einer dünnen Schicht einer leicht brennbaren Substanz, welche die Entzündung an das Holz überträgt. Man taucht die Hölzchen in geschmolzenen Schwefel, oder wenn sie geruchlos brennen sollen, in geschmolzene Stearinsäure. Die Zündmasse enthält keinen Phosphor, sondern besteht aus chlorsaurem Kali und Schwefelantimon, die mit Gummischleim oder Leim zu einem Brei angerührt werden. Man muß sich hüten, der Reibmasse zu viel amorphen Phosphor zuzusetzen, denn sonst entzündet sich beim Reiben oft die Masse auf der ganzen Fläche auf einmal.

Außer den schon oben angeführten Vortheilen, werden die Antiphosphorzündhölzer auch die vielen Unglücksfälle (Feuersbrünste) verhindern, zu denen die gewöhnlichen Phosphorzündhölzer Veranlassung gegeben haben. Erstere entzünden sich nämlich nicht durch Reiben auf jeder beliebigen, wenn auch rauhen Fläche, sondern nur auf der eigends dazu präparirten. Soll diesen Unglücksfällen vorgebeugt werden, so darf sich die Reibmasse nicht auf der Verpackung der Zündhölzer befinden, wie es bis jetzt gebräuchlich ist, sondern sie muß davon getrennt werden. Als Neulinge lassen diese Zündhölzchen noch Manches zu wünschen übrig; namentlich der Preis ist noch ziemlich theuer. Da dieser aber nicht natürlich begründet ist, so läßt sich annehmen, daß er nach einiger Zeit fallen wird und dann werden diese Hölzchen sicher eine weite Verbreitung finden, zumal Verbesserungen nicht lange werden auf sich warten lassen. Wie jede Neuerung, ist auch diese von der einen Seite mit großem Enthusiasmus aufgenommen worden, während man ihr andererseits eine jede Lebensfähigkeit abspricht.

Allerdings giebt es hier noch eine große Schwierigkeit zu besiegen. Bis jetzt hat man noch keine Bereitungsmethode des amorphen Phosphor gefunden, die schnell und sicher zum Ziele führt. Wie lange man auch den Phosphor der angegebenen Temperatur aussetzen möge, so gelingt doch die Umwandlung desselben nie ganz vollständig. Ein Theil widersetzt sich stets hartnäckig der Ueberführung in den amorphen Zustand und dieser muß vollständig entfernt werden, um die wesentlichen Eigenschaften des amorphen Phosphor, seine Unschädlichkeit und Unveränderlichkeit in der Luft nicht zu beeinträchtigen. Schrötter verwandelte bei seinen Versuchen in 50 Stunden von 18 Loth Phosphor nur 12 Loth in amorphen. Auch bei der Darstellung im Großen ist in der rothen Masse stets noch, fein vertheilt, etwas gewöhnlicher Phosphor (0,2 bis 0,3 Proc.). Diese geringe Menge bewirkt jedoch, daß solcher Phosphor sich beim Reiben oder beim Zerbrechen entzündet und dann fortbrennt. Um diesen kleinen Antheil des gewöhnlichen Phosphor zu entfernen, zerreibt man die Masse im Großen unter Wasser und erhitzt sie zuerst im Wasserbade, dann in einem Chlorcalciumbade und

zuletzt im Sandbade so lange sich noch im Dunkeln leuchtende Dämpfe entwickeln. Aber es gelingt doch nie vollständig, den gewöhnlichen Phosphor daraus zu entfernen.

Da der amorphe Phosphor von den gewöhnlichen Lösungsmitteln des gewöhnlichen entweder gar nicht oder nur äußerst wenig angegriffen wird, so sollte man meinen, daß die Entfernung des letzteren nicht schwierig wäre. Aber dennoch ist das scheinbar einfache Reinigungsverfahren mit großen Schwierigkeiten verknüpft und oft auch sehr gefährlich. Schrötter schlug dazu den Schwefelkohlenstoff vor, der jetzt zu einem billigen Preise im Großen zu haben ist. Bei der Anwendung desselben erkannte man jedoch bald große Mängel. Man muß nämlich das Auswaschen außerordentlich lange fortsetzen, um des Erfolges ganz sicher zu sein, dazu kommt die Gefahr einer Entzündung des leicht brennbaren Reinigungsmittels, die um so mehr zunimmt, je größere Mengen Phosphor man bearbeitet. Dasselbe möchte auch vom Terpentinöl, das gleichfalls verwendet wird, zu sagen sein, wenn auch in einem geringeren Grade. Hierdurch sind manche Unglücksfälle erklärlich, die gleichwohl auch durch den amorphen Phosphor veranlaßt worden sind. So gerieth z. B. eine ganze Ladung von rothem Phosphor in Brand *).

Deshalb verdient ein Reinigungsverfahren, welches Nicklès jüngst angegeben hat **), Beachtung. Es ist gegründet auf die verschiedene Dichtigkeit der beiden Phosphorarten; es soll einfach sein, schnell zum Ziele führen und soll man es ohne Bedenken jedem gewöhnlichen Arbeiter anvertrauen können. Es besteht darin, das Gemenge der beiden Phosphorarten mit einer Flüssigkeit zu schütteln, deren Dichtigkeit in der Mitte zwischen derjenigen der beiden zu trennenden Körper liegt. Dazu eignet sich eine Lösung von Chlorcalcium von 38 bis 40° B. sehr gut. Der leichtere gewöhnliche Phosphor schwimmt oben auf, und kann durch geringe Mengen von Schwefelkohlenstoff leicht beseitigt werden, während der amorphe Phosphor zu Boden fällt. In 10 Minuten soll die Scheidung erfolgen. Nicklès führt an, daß drei Waschungen stets hingereicht haben, um dem amorphen Phosphor selbst die geringsten Spuren des gewöhnlichen zu entziehen, in welchem Verhältniß sie auch gemengt sein mochten. Die ganze Operation kann in einer halben Stunde beendet werden und zwar ohne Unfall, weil sie in einem verschlossenen Gefäße ausgeführt werden kann. Auch fällt hierbei das Einathmen der Schwefelkohlenstoffdämpfe fort, wovon man sehr nachtheilige Wirkungen auf die Arbeiter beobachtet hat.

Von den Verbindungen des Phosphor mit Sauerstoff kennt man vier:

Phosphoroxyd, $P^2 O$,
Unterphosphorige Säure, PO,
Phosphorige Säure, PO^3 und
Phosphorsäure, PO^5.

Das Phosphoroxyd ($P^2 O$) entsteht stets in geringer Menge, wenn Phosphor an der Luft verbrennt. In größerer Menge erhält man das Oxyd, wenn man Phosphor unter Wasser schmilzt und dann aus einer feinen Spitze Sauerstoff

*) Buchner's Repertorium. Neue Folge. Bd. I. S. 375.
**) Journ. de Chim. med. 1856. p. 321.

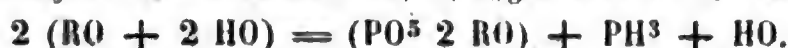
hinzutreten läßt. Es verbrennt der Phosphor selbst unter Wasser mit starker Lichtentwickelung. Es bildet sich rothes Phosphoroxyd, dem noch unverbrannter Phosphor beigemischt ist. Dieses Phosphoroxyd ist indifferent. Eine andere Modification desselben wird nach Leverrier dargestellt, wenn man Phosphor, der mit Phosphorchlorid ($P\,Cl^3$) befeuchtet ist, der Luft aussetzt. Außer Phosphorsäure entsteht hierbei eine lösliche Verbindung von Phosphoroxyd mit Phosphorsäure ($PO^5 + P^2O$), aus der sich beim Erwärmen ein gelbes Pulver, Phosphoroxydhydrat ($P^2O + 2\,HO$) abscheidet. Bei anhaltendem Kochen mit Wasser geht das Hydratwasser fort. Das wasserfreie gelbe Phosphoroxyd verhält sich wie eine schwache Säure; es verbindet sich mit Alkalien. Bei einer Temperatur von 200° C. geht es in das indifferente Oxyd über. Schrötter vermuthet, daß das rothe Phosphoroxyd mit dem amorphen Phosphor identisch sei.

Die unterphosphorige oder hypophosphorige Säure (PO) erhält man nicht, wie die drei übrigen Verbindungen, auf directem Wege. Sie bildet sich nur auf nassem Wege in Berührung mit Basen. Man kocht Phosphor mit Kalk oder besser mit Baryt und Wasser, bis aller Phosphor verschwunden ist und die Entwickelung von Phosphorwasserstoffgas aufgehört hat, oder man bringt Phosphorbaryum mit Wasser zusammen. Der Baryt wird durch verdünnte Schwefelsäure entfernt und die Lösung vorsichtig im Wasserbade bis zur Syrupsconsistenz abgedampft. Die Flüssigkeit ist farblos, nicht krystallisirbar; sie schmeckt sehr sauer und beißend. Im wasserfreien Zustande kann sie nicht dargestellt werden; selbst das Hydrat ist wenig beständig. Dampft man es zu weit ein, so zerlegt es sich in Phosphorwasserstoffgas und Phosphorsäure nach folgender Formel:



$$2\,PO + 3\,HO = PH^3 + PO^5.$$

Diese Säure zeigt eine große Begierde noch mehr Sauerstoff aufzunehmen. Sie ist daher eines der kräftigsten Reductionsmittel. Aus Kupfer-, Quecksilber-, Gold- und Silberlösungen scheidet sie die Metalle aus. Salpetersäure und Chlorwasser verwandeln die unterphosphorige Säure in Phosphorsäure; Schwefelsäure wird dadurch zu schwefliger Säure und theilweise selbst zu Schwefel reducirt. — Mit den Basen bildet die unterphosphorige Säure eine große Reihe von Salzen, von denen mehrere sehr schön krystallisiren. Man stellt sie sehr leicht dar durch Zersetzen des unterphosphorigsauren Baryt mittelst Lösungen von schwefelsauren Salzen, da mit Ausnahme des Bleisalzes die unterphosphorigsauren Salze in Wasser löslich sind. Für sich erhitzt zerfallen sie in phosphorsaure Salze und und nicht selbstentzündliches Phosphorwasserstoffgas nach der Formel:



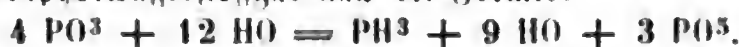
$$2\,(RO + 2\,HO) = (PO^5\,2\,RO) + PH^3 + HO.$$

Uebrigens enthalten alle unterphosphorigsauren Salze Wasser, das ihnen ohne Zersetzung nicht entzogen werden kann. Es ist wahrscheinlich, daß dieses Wasser oder dessen Elemente wesentlich mit zur Constitution der Säure selbst gehören, wodurch die Formel derselben complicirter wird, wie sie oben angegeben worden ist.

Die phosphorige Säure (PO^3) bildet sich bei Oxydation des Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft oder wenn Phosphor bei schwachem Luft- oder Sauerstoffzutritt nicht stark erwärmt wird. Die phosphorige Säure zieht sehr leicht die Feuchtigkeit aus der Luft an und oxydirt sich theilweise zu Phosphorsäure. Will man sich diese unreine phosphorige Säure in größeren Mengen

verschaffen, so stellt man in einem Trichter mehrere Stücke von Glasröhren auf, die Phosphor enthalten. Den Trichter stellt man auf eine Flasche und das Ganze überdeckt man mit einer Glasglocke, die oben eine Oeffnung besitzt. Der Phosphor oxydirt sich allmälig zu phosphoriger Säure, die Wasser aus der Luft an sich zieht und in die Flasche abfließt. Wollte man die Phosphorstücke für sich in dem Trichter aufstellen, so würde da, wo sich die Phosphorstücke berühren, bei der Oxydation so viel Wärme entwickeln, daß eine Entzündung des Phosphor eintreten würde.

Reine phosphorige Säure erhält man durch Zersetzen des flüssigen Phosphorchlorids ($P\,Cl^3$) mittelst Wasser ($P\,Cl^3 + 3\,HO = 3\,H\,Cl + PO^3$). Dampft man die Flüssigkeit bis zur Syrupsconsistenz ab, so entweicht die Chlorwasserstoffsäure. Unter der Luftpumpe erhält man dann ein krystallisirtes Hydrat ($PO^3 + 3\,HO$). Beim Erhitzen zerfällt das Hydrat in Phosphorsäure und nicht entzündliches Phosphorwasserstoffgas nach der Formel:



$$4\,PO^3 + 12\,HO = PH^3 + 9\,HO + 3\,PO^5.$$

Im wasserfreien Zustande stellt man die phosphorige Säure dar, wenn man Phosphor in einer Glasröhre, die an dem einen Ende zugeschmolzen und an dem anderen Ende in eine feine Spitze ausgezogen ist, verbrennt. Es ist eine leichte, voluminöse Masse, die sich sublimiren läßt. Da sie begierig die Feuchtigkeit der Luft an sich zieht, so kann man sie nur in zugeschmolzenen Röhren aufbewahren. — Die phosphorige Säure ist gleichfalls ein sehr kräftiges Reductionsmittel, wobei sich die phosphorige Säure stets in Phosphorsäure verwandelt. Sie ist eine schwache Säure, die sich mit Basen direct verbindet. Die phosphorigsauren Salze bilden sich auch durch Einwirkung von Kalihydrat auf unterphosphorigsaure Salze, wobei Wasserstoffgas entweicht. Diese Salze sind meistens im Wasser nicht löslich; beim Erhitzen verwandeln sie sich in phosphorsaure Salze unter Abgabe von Wasserstoffgas nach der Formel: $2\,RO,\,PO^3 + 2\,HO = 2\,RO,\,PO^5 + 2\,H$. Die wässrigen Lösungen der phosphorigsauren Salze oxydiren sich an der Luft nicht, leicht aber in Berührung mit Metalloxyden, die durch die Säure reducirt werden.

Die Phosphorsäure (PO^5) kommt, wie wir bereits angeführt haben, in der Natur nie frei, sondern stets an Basen gebunden vor. Im wasserfreien Zustande erhält man sie durch Verbrennen des Phosphor in trockener Luft oder trockenem Sauerstoff. Dies ist eines der glänzendsten Experimente der Chemie. Der Phosphor nimmt bei seiner Verbrennung mehr als sein eigenes Gewicht (über $1^1/_4$) Sauerstoff auf; diese bedeutende Sauerstoffabsorption erklärt das intensive Licht und die große Wärme, die sich beim Verbrennen des Phosphor entwickeln. Ein Pfund Phosphor erzeugt hierbei so viel Wärme, daß sie ausreicht, um 100 Pfd. Eis zu schmelzen. Es bilden sich während der Verbrennung leichte weiße Nebel, die als schneeähnliche Massen niederfallen und sehr leicht die Feuchtigkeit der Luft an sich ziehen, so daß sie zerfließen. Die Verwandtschaft zum Wasser ist so groß, daß, wenn man selbst kleine Massen in Wasser bringt, ein Zischen wie beim Eintauchen eines glühenden Metalls erfolgt und eine Erhitzung eintritt. Hat die Säure nur die geringste Spur von Feuchtigkeit aufgenommen, so wird sie sogleich durchsichtig und glasartig. Für sich wirkt die wasserfreie Säure kaum als Säure; in Verbindung mit Wasser aber besitzt sie sehr stark saure Eigenschaften. Bringt man sie im trockenen Zustande auf die

Haut, so wirkt sie in Folge der heftigen Anziehung des Wassers sehr zerstörend, ähnlich wie ein glühender Körper. Sie zerlegt auch viele organische Körper, indem sie eine Vereinigung des Sauerstoffs mit dem Wasserstoff zu Wasser veranlaßt. Hat die wasserfreie Säure einmal Wasser aufgenommen, so kann dasselbe durch Erhitzen nicht wieder ganz entfernt werden. Deshalb läßt sich auch aus den Phosphorsäurehydraten keine wasserfreie Phosphorsäure darstellen.

Mit dem Wasser bildet die Phosphorsäure drei verschiedene Hydrate:

das erste Hydrat $PO^5 + HO$, Metaphosphorsäure oder a Phosphorsäure,

das zweite Hydrat $PO^5 + 2\,HO$, Pyro- oder Paraphosphorsäure oder b Phosphorsäure und

das dritte Hydrat $PO^5 + 3\,HO$, gewöhnliche Phosphorsäure oder c Phosphorsäure.

Mehr noch als durch den verschiedenen Wassergehalt unterscheiden sich diese Hydrate dadurch, daß sie Salze von verschiedener Zusammensetzung und von sehr abweichenden chemischen und physikalischen Eigenschaften bilden. Die Unterschiede sind oft größer, wie wir sie bei Salzen mit verschiedenen Säuren finden. Diese Eigenthümlichkeit der Phosphorsäure wurde zuerst von Graham erkannt. Ueber die Ursache derselben herrschen noch verschiedene Ansichten.

Da die gewöhnliche Phosphorsäure als Ausgangspunkt für die Darstellung der übrigen dient, so betrachten wir sie zuerst. In dieser Form finden wir die Phosphorsäure in allen natürlichen Verbindungen. Sie entsteht bei langsamer Oxydation des Phosphor in feuchter Luft oder durch Oxydation des Phosphor auf nassem Wege. Man erhält sie als eine wässrige Lösung durch Zersetzung der phosphorsauren Salze mittelst stärkerer Säuren. Zuerst stellte sie Marggraf 1740 aus dem phosphorsauren Salzen des Harns dar. Darauf lehrte sie Scheele aus den Knochen abzuscheiden. Aus diesen bereitet man auch jetzt noch die Phosphorsäure, wenn eine große Reinheit nicht gefordert wird. Man zersetzt die weiß gebrannten Knochen durch ein gleiches Gewicht Schwefelsäure, wobei man nach und nach 8 bis 10 Th. Wasser hinzusetzt. Die saure Flüssigkeit wird bis zur Syrupsconsistenz abgedampft und dann tropfenweise Schwefelsäure hinzugesetzt, so lange sich noch schwefelsaurer Kalk abscheidet. Beim weiteren Abdampfen scheidet sich auch saure phosphorsaure Magnesia in Krystallen aus. Die überschüssige Schwefelsäure wird durch Erhitzen in Platingefäßen verjagt. Die concentrirte Phosphorsäure verdünnt man dann mit Wasser, während der Syrup die Zusammensetzung $PO^5 + 3\,HO$ besitzt.

Reiner erhält man die gewöhnliche Phosphorsäure durch Oxydation des Phosphor mit Salpetersäure. Diese Methode rührt von Lavoisier her. Oxydirt man zuerst den Phosphor in der Luft, so gebraucht man nur wenig Salpetersäure, um die noch rückständige phosphorige Säure höher zu oxydiren. Diese Bereitungsart erfordert aber viele Zeit und deshalb zieht man es meistens vor, den Phosphor direct durch Salpetersäure zu oxydiren. Um ein Entzünden des Phosphor zu vermeiden, bringt man 1 Th. Phosphor in eine tubulirte Retorte, welche 10 bis 12 Th. verdünnte Salpetersäure (spec. Gew. 1,20) enthält und erwärmt behutsam, da bei einem stärkeren Erhitzen ein großer Theil der Salpetersäure entweicht, ohne oxydirend auf den Phosphor gewirkt zu haben. Um dieses zu verhüten, bringt man an der Retorte eine Vorlage an, in der sich die

entweichende Salpetersäure und phosphorige Säure verdichten. Diese gießt man von Zeit zu Zeit in die Retorte zurück und läßt die Erwärmung so lange andauern, so lange noch rothe Dämpfe entweichen. Dann concentrirt man die Flüssigkeit dadurch, daß man die Hälfte abdestillirt, und den Rückstand dampft man so lange ab, bis keine sauren Dämpfe (Salpetersäure) mehr entweichen. Ist noch phosphorige Säure vorhanden, so tropft man Salpetersäure zu, bis keine Einwirkung mehr erfolgt, und verjagt die rückständige Salpetersäure durch Verdampfen. Der saure Syrup besitzt auch hier die Zusammensetzung $PO^5 + 3\,HO$.

Diese Phosphorsäure kann höchstens phosphorige Säure, Salpetersäure und Salzsäure enthalten. Erstere erkennt man leicht durch ihre reducirende Eigenschaft, Salpetersäure erkennt man durch Eisenvitriol und die Salzsäure durch salpetersaures Silberoxyd, da Chlorsilber in Salpetersäure unlöslich ist. War der Phosphor nicht ganz rein, so gehen auch dessen Beimengungen in die Säure mit über. Wie man diese Verunreinigungen erkennt, haben wir schon beim Phosphor angegeben.

Aus den Syrupen setzen sich bei Ausschluß der Luft nach einiger Zeit durchsichtige harte Krystalle ab, die eine gleiche Zusammensetzung besitzen. Sie ziehen aber sehr schnell Feuchtigkeit aus der Luft an und zerfließen.

Chemisch reine Phosphorsäure bereitet man, indem man eine Lösung von reinem phosphorsauren Natron in der Wärme durch essigsaures Bleioxyd fällt. Den Niederschlag vertheilt man nach dem Auswaschen in Wasser und leitet Schwefelwasserstoff hindurch, um das phosphorsaure Bleioxyd zu zersetzen. Das Filtrat dampft man ein. — Mohr hat *) eine billige Bereitungsart der Phosphorsäure angegeben. Er verbrennt den Phosphor direct in der Luft. Hierbei bedient er sich eines sehr einfachen Apparates — eines gewöhnlichen Schwefelsäureballons, durch dessen Hals er, an einem Platindrahte hängend, ein Porzellanschälchen mit Phosphorstücken einbringt. Den Draht, durch welchen der Phosphor entzündet wird, schützt Mohr dadurch gegen die Einwirkung des Phosphor, daß er ihn durch irdene Pfeifenstücke zieht. Durch den Kork, mit welchem der Ballon verschlossen wird, bringt man ein Gasentwickelungsrohr, welches unter Wasser mündet, an, um das Entweichen der Dämpfe zu verhindern. Sorgt man für eine gehörige Entfernung des bei der Verbrennung übrig bleibenden Stickstoffs mittelst eines Ventilators, so können auf diese Weise täglich 6 Unzen Phosphor ohne allen Kostenaufwand in Phosphorsäure verwandelt werden.

Die Phosphorsäure ist eine sehr starke Säure, bei gewöhnlicher Temperatur steht sie doch der Schwefelsäure nach, während sie diese bei höherer Temperatur austreibt. Sobald keine phosphorige Säure darin enthalten ist, wirkt die Phosphorsäure nicht giftig. Von den beiden anderen Hydraten ist sie sehr leicht dadurch zu unterscheiden, daß sie salpetersaures Silberoxyd gelb fällt und Eiweiß nicht coagulirt. Mit den Basen bildet sie drei verschiedene Reihen von Salzen, je nachdem die 3 Aeq. Wasser ganz oder theilweise durch Basen ersetzt werden. Je nachdem 3, 2 oder 1 Aeq. Metalloxyd in die Verbindung eintreten, nennt man die Salze basische $\left.\begin{matrix}RO\\RO\\RO\end{matrix}\right\} c\,PO^5$ oder neutrale $\left.\begin{matrix}RO\\RO\\HO\end{matrix}\right\} c\,PO^5$ oder saure $\left.\begin{matrix}RO\\HO\\HO\end{matrix}\right\} c\,PO^5$.

---

*) Arch. d. Pharm. Bd. LXXII. S. 87.

Weil diese Säure zu ihrer Sättigung drei Aeq. Base braucht, so nennt man sie auch dreibasische Phosphorsäure. Von den basischen und neutralen Salzen sind nur die der Alkalien in Wasser löslich; die anderen sind unlöslich und bilden sich, wenn ein lösliches Salz der betreffenden Base durch c phosphorsaures Alkali gefällt wird. Oft bleibt der Ueberschuß nur bei einem Ueberschuß des Fällungsmittels.

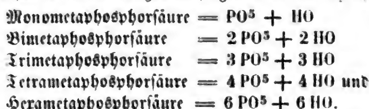
Die Pyro- oder Paraphosphorsäure ($PO^5 + 2\,HO$), auch b Phosphorsäure oder zweibasische Phosphorsäure genannt, erhält man durch Erhitzen der dreibasischen Phosphorsäure bis auf 213° C. Sie erscheint als eine feste, glasartige Masse, die begierig die Feuchtigkeit der Luft anzieht und leicht zerfließt. Bringt man sie mit Wasser zusammen, so zischt sie nicht, wie die wasserfreie Säure. Sie enthält jedoch neben der zweibasischen Säure noch dreibasische. Stärker darf man sie nicht erhitzen, weil sich dann auch die einbasische Säure bildet. Pyrophosphorsäure entsteht ferner auch beim Glühen der neutralen c phosphorsauren Salze. Bei dieser Gelegenheit bemerkte Clarke zuerst, daß die Phosphorsäure jetzt andere Reactionen zeige wie vor dem Glühen. Um eine ganz reine Säure zu erhalten, glüht man gewöhnliches neutrales c phosphorsaures Natron, löst den Rückstand in Wasser und fällt die Lösung durch essigsaures Bleioxyd. Den ausgewaschenen Niederschlag zersetzt man auf die bekannte Weise. Um den Ueberschuß von Schwefelwasserstoff zu entfernen, darf man die Flüssigkeit nicht erwärmen; man setzt sie einfach nur der Luft aus. Für sich ist die Pyrophosphorsäure kaum bekannt; man erhält sie stets nur als eine wäßrige Lösung, die nicht concentrirt werden kann, ohne daß sich wieder dreibasische Säure bildet. Bei gewöhnlicher Temperatur hält sich die Lösung der Pyrophosphorsäure lange Zeit unverändert; durch Säuren wird sie jedoch schnell wieder in die dreibasische Säure verwandelt. Von dieser unterscheidet sie sich dadurch, daß sie mit salpetersaurem Silberoxyd einen weißen Niederschlag bildet, während sie Eiweiß gleichfalls nicht coagulirt. Sie bildet zwei Reihen Salze. Die neutralen enthalten 2 Aeq. Metalloxyd und sind nach dem Erhitzen wasserfrei: $\left.\begin{matrix}RO\\RO\end{matrix}\right\}$ b PO^5; die sauren enthalten noch 1 Aeq. basisches Wasser: $\left.\begin{matrix}RO\\HO\end{matrix}\right\}$ b PO^5.

Die Metaphosphorsäure ($PO^5 + HO$), auch a Phosphorsäure oder einbasische Phosphorsäure genannt, erhält man, wenn man die gewöhnliche Phosphorsäure bis zum Glühen in einem bedeckten Platintiegel erhitzt. Sie ist dann fest und glasig. In Wasser gebracht, zerspringt sie mit ziemlicher Heftigkeit in Stücke und löst sich nach und nach auf. Durch Zerfließen der wasserfreien Säure oder durch Auflösen derselben in kaltem Wasser entsteht gleichfalls Metaphosphorsäure. Oder man zersetzt a phosphorsaures Blei- oder Silberoxyd durch Schwefelwasserstoff oder Salzsäure. Die Lösung der Metaphosphorsäure geht nach kurzer Zeit in Pyrophosphorsäure über. Von der letzteren unterscheidet sie sich dadurch, daß sie Eiweiß coagulirt, während sie gleichfalls salpetersaures Silberoxyd mit weißer Farbe fällt. Mit Basen bildet sie Salze von der Formel: $RO . PO^5$.

Durch Fleitmann und Henneberg *) sind in neuester Zeit noch ver-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXV. S. 304. Bd. LXXII. S. 231. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 233 u. 338.

schiedene andere Modificationen der Metaphosphorsäure nachgewiesen worden, deren Salze alle scheinbar eine gleiche Zusammensetzung haben, aber doch in ihren Eigenschaften eine sehr große Verschiedenheit zeigen. Fleitmann glaubt, daß diesem Verhalten eine Polymerie zu Grunde liege, daß also die Säuren ein verschiedenes Atomgewicht haben. Er nimmt 5 Modificationen der a Phosphorsäure an, die er als polymere Verbindungen in folgender Weise bezeichnet:



Monometaphosphorsäure $= PO^5 + HO$
Bimetaphosphorsäure $= 2\,PO^5 + 2\,HO$
Trimetaphosphorsäure $= 3\,PO^5 + 3\,HO$
Tetrametaphosphorsäure $= 4\,PO^5 + 4\,HO$ und
Hexametaphosphorsäure $= 6\,PO^5 + 6\,HO$.

Zumeist dient die Phosphorsäure für sich oder hauptsächlich in Verbindung mit Natron als Arzeneimittel, dann aber auch zur Darstellung vieler Präparate. Man wendet die Phosphorsäure auch beim Zeugdruck an, seitdem man gefunden hat, daß die organischen Säuren (Weinsteinsäure, Citronensäure und Oxalsäure) die Haltbarkeit der Gewebe aus Leinen und Baumwolle beeinträchtigen, sobald man diese in einer Wärme über 80° trocknet, sei es in der Luft oder bei Anwendung von Wasserdampf. — Nach Müller *) ist die Phosphorsäure, in Weingeist gelöst, auch ein treffliches Löthmittel in solchen Fällen, wo die gewöhnlichen Mittel nicht anzuwenden sind. Für manche Gegenstände genügt ein einfaches Eintauchen in die weingeistige Phosphorsäurelösung, bei anderen trägt man diese mit einem Pinsel auf, worauf die zu vereinigenden Metallstücke einen Augenblick in das geschmolzene Weichloth eingesenkt werden. Die Löthung ist eine vollkommen gute; bei der Operation wird der Arbeiter nicht durch Dämpfe belästigt und ohne daß eine Reinigung erfolgt, sind die Metallflächen so blank und rein, als ob sie von jeder Berührung mit einer Säure frei geblieben wären.

Die sauerstoffärmeren Säuren des Phosphor erkennt man sehr leicht, wie schon angegeben, durch ihr Verhalten zu den Salzen der leicht reducirbaren Metalloxyde. Will man sie quantitativ bestimmen, so verwandelt man sie durch Erwärmen mit Salpetersäure in Phosphorsäure und bestimmt diese. Wie sich die ein- und zweibasische Phosphorsäure unter sich und von der dreibasischen unterscheiden, haben wir bereits angeführt; bei einer quantitativen Bestimmung verwandelt man erstere durch andauerndes Erhitzen mit einer Säure in die letztere. Außer der angeführten Reaction erkennt man die gewöhnliche Phosphorsäure auch daran, daß schwefelsaure Magnesia bei Gegenwart von überschüssigem freien Ammoniak und von Ammoniaksalz aus der Lösung der c phosphorsauren Alkalien alle Phosphorsäure als phosphorsaure Magnesia-Ammoniak niederschlägt. Dies Reagens ist aber nur in dem angegebenen Fall und bei freier Phosphorsäure anzuwenden; die in Wasser unlöslichen c phosphorsauren Salze werden aus ihren Lösungen in Wasser bereits durch Ammoniak gefällt. Auf diesen Umstand hat man bei der qualitativen Analyse Acht zu geben, sobald man es mit in Wasser unlöslichen Substanzen zu thun hat. In gewissen Fällen hat man hier die Gegenwart der Phosphorsäure in dem durch Schwefelammonium erhaltenen Niederschlag, also bei den Basen, nachzuweisen.

*) Polytechn. Centr. Bl. 1856. S. 321.

Bedeutend empfindlicher als Magnesiasalze ist nach Struve und Svanberg *) molybdänsaures Ammoniak bei Gegenwart von freier Salz- oder Salpetersäure. Die Phosphorsäure scheidet sich vollständig in Verbindung mit Molybdänsäure und Ammoniak ab in Form eines gelben Niederschlages. Bei geringen Mengen von Phosphorsäure entsteht der Niederschlag erst beim Erhitzen; selbst die geringsten Spuren werden noch angezeigt dadurch, daß die Flüssigkeit eine deutliche gelbe Färbung annimmt. Durch dieses Reagens ist es möglich geworden die große Verbreitung der Phosphorsäure in den Mineralien nachzuweisen. Nur die gewöhnliche Phosphorsäure, nicht aber die Meta- und Pyrophosphorsäure zeigt diese Reaction; jedoch werden die beiden letzteren Säuren durch die Salpetersäure rc. so schnell in die erstere verwandelt, daß auch hier die Reaction sehr bald eintritt. Allerdings zeigt die Arsensäure ein ähnliches Verhalten; nach Struve aber tritt die Reaction nur bei Zusatz von Salpetersäure ein, nicht aber bei Salz- und Schwefelsäure; nach Sonnenschein nur beim Erwärmen auf 100° C. und nicht bei gewöhnlicher Temperatur. Außerdem ist die Arsensäure sehr leicht von der Phosphorsäure zu unterscheiden, so daß diese Aehnlichkeit in dem Verhalten der Wichtigkeit des molybdänsauren Ammoniaks als Reagens auf Phosphorsäure keinen Eintrag thut.

Die quantitative Bestimmung der Phosphorsäure geschieht je nach den Basen, mit denen sie vorkommt, auf verschiedene Weise. In einzelnen Fällen ist die Methode sehr umständlich und schwierig. Nur durch die Anwendung von molybdänsaurem Ammoniak wird das Verfahren vereinfacht. Dadurch wird unter den angegebenen Umständen die Phosphorsäure sowohl aus den in Wasser als auch in Säuren löslichen Verbindungen vollständig abgeschieden. Als Fällungsmittel dient nach Sonnenschein **) eine Lösung von 1 Th. Molybdänsäure in 8 Th. Ammoniak, der man 20 Th. Salpetersäure zusetzt. Der gelbe Niederschlag wird in Ammoniak gelöst und dann die Phosphorsäure als phosphorsaure Magnesia-Ammoniak gefällt. Da diese Verbindung in ammoniakhaltigem Wasser vollständig unlöslich ist, so kann man dadurch die Phosphorsäure, sobald nur Alkalien in der Lösung befindlich sind, direct bestimmen. Neuerdings hat Knop ***) in dem essigsauren Uranoxyd ein Mittel aufgefunden, wodurch die Bestimmung der Phosphorsäure in den schwierigen Fällen sehr vereinfacht wird. Löst man eine Substanz, die Phosphorsäure enthält, in irgend einer Säure, fügt dann Ammoniak in Ueberschuß hinzu, übersättigt die Flüssigkeit mit Essigsäure und erhitzt zum Kochen, so entsteht auf Zusatz einer Lösung von essigsaurem Uranoxyd ein weißgelblicher Niederschlag von phosphorsaurem Uranoxydammoniak, der in freier Essigsäure vollkommen unlöslich ist. Auf diese Weise werden alle phosphorsauren Salze von Kali, Natron, Ammoniak, Baryt, Kalk, Magnesia, Thonerde und Eisenoxyd vollständig zersetzt. Der Niederschlag hat stets eine gleiche Zusammensetzung: $2\,(Ur^2O^3),\ NH^4O.\ PO^5$ und nach dem Glühen enthält er stets 20 Proc. Phosphorsäure. Man hat also in den essigsaurem Uranoxyd ein Mittel, die Phosphorsäure ganz aus der Analyse zu entfernen. Bei Aschen-, Mineral- und Harn-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIV. S. 291. Bd. LIV. S. 288.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIII. S. 339.
***) Chem. Central. Bl. 1856. S. 737.

analysen ist dieser Umstand von großer Wichtigkeit. Qualitativ hält Knop dieses Reagens noch für schärfer als das molybdänsaure Ammoniak.

Mit dem Wasserstoff verbindet sich der Phosphor nicht direct. Man kennt davon drei Verbindungen: eine feste (P^2H), eine flüssige (PH^2) und eine gasförmige (PH^3). Der feste Phosphorwasserstoff wird beim Zersetzen von Phosphorkalium durch Wasser in gelblichen Flocken ausgeschieden. Eben so wird auch das selbstentzündliche Phosphorwasserstoffgas durch das Licht, schneller durch Chlor zersetzt. Am leichtesten wird diese feste Verbindung erhalten, wenn man Phosphorcalcium bei Abschluß der Luft in warmer concentrirter Salzsäure löst. Sobald die Gasentwickelung aufgehört hat, wäscht man den Rückstand mit kaltem Wasser und trocknet ihn unter der Luftpumpe. Die Zersetzung wird durch folgende Formel anschaulich:

$$\underbrace{5\,Ca^2P}_{\text{Phosphorcalcium}} + \underbrace{10\,HCl}_{\text{Salzsäure}} = \underbrace{P^2H}_{\text{fester Phosphorwasserstoff}} + \underbrace{3\,PH^3}_{\text{Phosphorwasserstoffgas}} + \underbrace{10\,CaCl}_{\text{Chlorcalcium.}}$$

Der flüssige Phosphorwasserstoff (PH^2) bildet sich, wenn man Phosphorcalcium mit Wasser zusammenbringt.

Vorgang der Zersetzung:

$$\underbrace{Ca^2P}_{\text{Phosphorcalcium}} + \underbrace{2\,HO}_{\text{Wasser}} = \underbrace{2\,CaO}_{\text{Calciumoxyd}} + \underbrace{PH^2}_{\text{flüssiger Phosphorwasserstoff.}}$$

Diese Verbindung zersetzt sich aber sehr leicht in den festen und gasförmigen Phosphorwasserstoff. Das Sonnenlicht bewirkt diese Zersetzung oft mit Explosion. Außerdem wird diese Zerlegung durch mehrere andere Substanzen, wie Salzsäure, Luft mit viel Kohlensäure verdünnt und namentlich durch pulverförmige Körper bedingt.

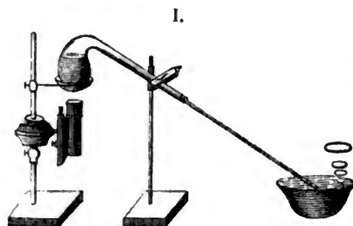
Phosphorwasserstoffgas (PH^3) wurde zuerst 1783 von Gengembre erhalten beim Erhitzen von Phosphor mit Kalilauge. Das sich hierbei entwickelnde Gas hatte die merkwürdige Eigenschaft, sich bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft zu entzünden. Später stellte Davy gleichfalls Phosphorwasserstoffgas dar durch Erhitzen von phosphoriger Säure. Dieses Gas zeigte zwar dieselben Eigenschaften wie das von Gengembre entdeckte, aber es entzündete sich an der Luft nicht freiwillig. Deshalb unterscheidet man ein selbstentzündliches und ein nicht selbstentzündliches Gas. Worin dieser Unterschied begründet liegt, ist noch nicht sicher ausgemacht. Das selbstentzündliche Gas verliert diese Eigenschaft, wenn es längere Zeit über Wasser steht; es setzt sich hierbei fester Phosphorwasserstoff ab. Nach Thénard entsteht dieser Absatz aber durch Zersetzung des flüssigen Phosphorwasserstoffs. Es gelang ihm diesen durch Abkühlen bis auf — 10° C. aus dem selbstentzündlichen Gase abzuscheiden, und damit hatte auch das Gas seine merkwürdigste Eigenschaft verloren. Hiernach wäre also die Entzündung des Gases auf Rechnung eines geringen Gehaltes der flüssigen Verbindung zu setzen. Nun aber hat Graham gefunden, daß manche Körper dem selbstentzündlichen Gase diese Eigenschaft rauben und wiederum andere dem nicht entzündlichen Gase

solche verleihen. Das erstere wäre nicht auffallend, da wir gesehen haben, daß der flüssige Phosphorwasserstoff eine sehr unbeständige Verbindung ist. Eben so will Bonnety Bonfill*) gefunden haben, daß das nicht entzündliche Gas durch die geringste Beimischung von salpetriger Säure in selbstentzündliches verwandelt wird. Er nimmt daher an, daß der Phosphor in verschiedenen Modificationen in den beiden Gasen enthalten sei.

Das Phosphorwasserstoffgas ist farblos und besitzt einen widerlichen, knoblauchartigen Geruch. Es kann das Verbrennen und Athmen nicht unterhalten; das nicht entzündliche Gas brennt aber beim Entzünden gleichfalls. Durch viele Metalle wird es in Phosphormetalle und Wasserstoffgas zerlegt; Gold- und Silberlösungen fällt es metallisch. Es soll sich beim Faulen phosphorhaltiger organischer Stoffe, besonders beim Faulen der Fische entwickeln.

Die künstliche Erzeugung des selbstentzündlichen Phosphorwasserstoffgases gehört mit zu den interessantesten Erscheinungen, welche die Chemie dem Auge bietet. Zu diesem Ende füllt man eine kleine Kochflasche oder Retorte (s. beisteh. Fig. I.) fast ganz mit Kalilauge und thut dann einige Phosphorstücke hinein. Beim Erwärmen entwickeln sich sehr bald Gasblasen, die sich entzünden, sobald sie die Oberfläche der Flüssigkeit erreicht haben. Man läßt die Gasentwickelung einige Zeit andauern, bevor man die Flasche mit dem Gasleitungsrohr in Verbindung bringt, damit die atmosphärische Luft in der Flasche durch das sich entwickelnde Gas verdrängt werde. Versäumt man diese Vorsicht, so kann leicht der Apparat durch eine Explosion zertrümmert werden. Erst wenn der ganze leere Raum der Flasche mit Phosphorwasserstoffgas gefüllt ist, setzt man den Kork mit dem Gasleitungsrohr auf und nun beginnt ein prachtvolles Schauspiel. Jede Gasblase, welche aus dem Rohre durch das Wasser aufsteigt, entzündet sich sofort mit einem geringen Knall. Dann sieht man einen weißen, geschlossenen Ring (die bei der Verbrennung entstandene Phosphorsäure) mit wirbelnder Bewegung langsam in die Luft zu einer beträchtlichen Höhe aufsteigen und sich allmälig vergrößern. Das Wasser, durch welches das Gas bei diesem Versuche aufsteigt, überzieht sich an seiner Oberfläche mit einem in prächtigen Farben schillernden Häutchen.

I.



II.



Leitet man die Gasblasen in eine mit Sauerstoff gefüllte Glocke, so verbreitet die Lichterscheinung einen um vieles lebhafteren Glanz. Dieses Experiment erfordert jedoch einige Vorsicht; man muß die Gasblasen sehr langsam entwickeln, sonst können hier gefährliche Explosionen stattfinden. — Im Kleinen läßt sich dieser interessante Versuch sehr leicht ausführen, wenn man in ein Glas mit Wasser (s. beistehende Fig. II.) ein Stückchen Phosphorcalcium wirft. Das hier erhaltene Gas ist sehr rein, so daß sich jede Blase entzündet. Das Phosphorcalcium zersetzt

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIV. S. 247.

sich jedoch beim Aufbewahren sehr leicht und dann ist es nicht mehr zu brauchen. Auf den Zuschauer übt dieses artige Experiment eine ergreifende Wirkung aus. Man erzählt sich hierüber folgende Anekdote. Bald nach der Entdeckung des selbstentzündlichen Phosphorwasserstoffgases führte ein deutscher Professor der Chemie dieses Experiment vor einem zahlreich versammelten Publicum in London aus. Einer der Zuschauer wurde von dem, was vor seinen Augen vorging, so ergriffen, daß er ausrief: „Man muß die Deutschen aus dem Lande jagen, sonst setzen sie uns die Themse in Brand.“

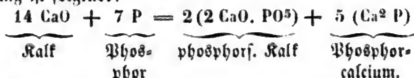
Beim Anblick des eben beschriebenen Experimentes steigt sehr leicht der Gedanke auf, daß das selbstentzündliche Phosphorwasserstoffgas bei jener phantastischen Erscheinung, die im Munde des Volkes lebt, eine wichtige Rolle spielen möge. Allerdings haben die Irrlichter sich Kirchhöfe und Moräste, also Orte, an denen organische Stoffe in Menge der Fäulniß anheimfallen, zu ihren Tummelplätzen ausgewählt und dadurch ist eine Möglichkeit für die Richtigkeit jener Ansicht gegeben. Bewiesen aber ist sie nicht; ist ja selbst die Existenz der Irrlichter noch sehr problematisch.

Das nicht entzündliche Gas erhält man beim Erhitzen der phosphorigen und unterphosphorigen Säure und deren Salze, beim Zerlegen von Phosphorcalcium durch Salzsäure und beim Erhitzen von Phosphor mit einer alkoholischen Lösung von kaustischem Kali.

Die Verbindungen des Phosphor mit den übrigen nicht metallischen Elementen haben nur ein wissenschaftliches Interesse. Mit dem Stickstoff verbindet sich der Phosphor nicht direct; dagegen sind die Verbindungen der Phosphorchloride mit Ammoniak sehr leicht zersetzbar. Es bilden sich hier sehr verschiedenartige, jedoch wiederum leicht veränderliche Producte, die noch nicht genau untersucht worden sind. Ob ein Kohlenstoff-Phosphor existirt, ist noch nicht ausgemacht. Mit Chlorgas verbindet sich der Phosphor sehr leicht unter Entwickelung von Licht und Wärme; ja er entzündet sich hier viel leichter wie selbst im Sauerstoffgas. Man kennt bis jetzt eine flüssige ($P\,Cl^3$) und eine feste Verbindung ($P\,Cl^5$), welche der phosphorigen und der Phosphorsäure entsprechen. Mit größerer Energie treten Phosphor und Brom zusammen; die Verbindungen sind den vorstehenden analog zusammengesetzt. Auch das Jod verbindet sich leicht, doch in einer anderen Weise mit dem Phosphor. Man kennt ein Jodür ($P\,J^2$) und ein Jodid ($P\,J^3$). Mit Fluor existirt eine Verbindung, welche der phosphorigen Säure entspricht. Am zahlreichsten sind die Verbindungen mit dem Schwefel; beide Elemente vereinigen sich beim Erhitzen leicht. Diese Verbindungen entsprechen ganz den vier aufgezählten Sauerstoffverbindungen. Außerdem existirt noch ein Phosphorsupersulfuret ($P\,S^6$).

Von den zahlreichen Phosphormetallen führen wir nur das Phosphorcalcium ($Ca^2\,P$) an. Man glüht Kalk in einer langen Glasröhre und leitet Phosphordämpfe darüber. Um größere Mengen darzustellen, verfährt man auf folgende Weise. Man bringt in dem Boden eines irdenen Tiegels von einem Quart Inhalt ein Loch von $^1/_2$ bis $^3/_4$ Zoll Durchmesser an; durch den Rost des Windofens wird in dieses Loch der Hals eines kleinen Kolbens, in welchem sich vollkommen getrockneter Phosphor befindet, eingekittet. Den Tiegel bringt man, nachdem er mit Kalkstücken gefüllt worden ist, zum Glühen und dann erhitzt man

den Kolben vorsichtig, damit der Phosphordampf durch den glühenden Kalk aufsteigt. Nach einer halben Stunde ist dieser in Phosphorcalcium verwandelt. Die Einwirkung ist folgende:



$$\underbrace{14\,CaO}_{\text{Kalk}} + \underbrace{7\,P}_{\text{Phosphor}} = \underbrace{2\,(2\,CaO.\,PO^5)}_{\text{phosphors. Kalk}} + \underbrace{5\,(Ca^2\,P)}_{\text{Phosphorcalcium.}}$$

Das Phosphorcalcium ist also stets mit phosphorsaurem Kalk gemischt. Es besitzt eine dunkle, fast schwarze oder mehr rothbraune Farbe. Während es sich in trockner Luft nicht verändert, zerfließt es in feuchter, wobei sich Phosphorwasserstoffgas entwickelt. An der Luft erhitzt, verbrennt es zu phosphorsaurem Kalk. Bringt man dasselbe mit luftfreiem Wasser zusammen, so bildet sich kaum eine Spur von phosphoriger Säure; das Phosphorcalcium zerfällt nur in Kalk und flüssigen Phosphorwasserstoff:



$$Ca^2\,P + 2\,HO = 2\,CaO + P\,H^2.$$

Der flüssige Phosphorwasserstoff zerfällt schnell in festen und gasförmigen Phosphorwasserstoff:



$$5\,PH^2 = 3\,PH^3 + P^2\,H.$$

Der feste Phosphorwasserstoff zersetzt unter der Einwirkung des Kalkes das Wasser; es bildet sich unterphosphorige Säure und Wasserstoff entweicht:



$$P^2\,H + 2\,HO = 2\,PO + 3\,H.$$

Wird Phosphorcalcium dagegen mit concentrirter Salzsäure übergossen, so bildet sich Chlorcalcium und flüssiger Phosphorwasserstoff:



$$Ca^2\,P + 2\,H\,Cl = 2\,Ca\,Cl + P\,H^2.$$

Der letztere zerfällt hier augenblicklich wie oben, so daß sich das Gas hier nicht entzündet, was dort der Fall ist, da die Zersetzung langsamer vor sich geht und einzelne Theilchen der flüssigen Verbindung bei der Entwickelung des Gases mit fortgerissen werden. W. B.

Photographie. Unter Photographie (*φῶς*, Licht, *γράφειν*, schreiben, zeichnen) versteht man die Kunst, durch chemische Wirkung des Lichtes Bilder zu erzeugen. Man kennt verschiedene Wege diesen Zweck zu erreichen, und wir werden in der nachfolgenden Abhandlung dieselben nach allen Richtungen hin besprechen.

Es giebt chemische Stoffe, welche auf Papier aufgetragen, und im Dunkeln aufbewahrt, farblos oder nur schwach gefärbt bleiben; sobald sie aber in das Licht kommen, werden sie augenblicklich dunkler, und gehen je nach der Dauer der Lichtwirkung von der zartesten Farbenänderung durch alle Töne des Rothbraun, des Braun oder des Violett bis zum tiefen Schwarz durch. Diese Eigenschaft besitzen vorzugsweise das salpetersaure Silberoxyd, das Chlorsilber, Brom- und Jodsilber, kurz fast alle Silbersalze; nur hängt es von der Art und Weise ihrer Bereitung und von ihren verschiedenen chemischen Eigenschaften ab, ob sie für die Wirkung des Lichtes mehr oder weniger empfänglich sind, und welche Farbennüancen sie annehmen. Obgleich es außer den Silbersalzen in der Natur noch eine Menge Stoffe giebt, die dem chemischen Einflusse des Lichtes unterliegen, so sind es doch vorzüglich nur die Silbersalze, welche Photographen, und folglich auch uns interessiren, und wir werden es im Verlaufe dieses Artikels vorzugs-

weise nur mit den Silbersalzen und ihrer Lichtempfindlichkeit zu thun haben, daher die übrigen Stoffe nur nebenbei berühren.

Allgemeine Erklärung der photographischen Methode. Wenn man ein mit einer Lösung von salpetersaurem Silbersalze oder Chlorsilber überstrichenes Papier dem Lichte aussetzt und die schnelle Färbung beobachtet, während an gedeckten oder beschatteten Stellen die Färbung nicht, oder nur langsam vorschreitet, so liegt der Gedanke sehr nahe, einen Kupferstich oder eine Zeichnung mit der gezeichneten Fläche auf das mit Silbersalz imprägnirte Papier zu legen, das Licht durchscheinen zu lassen, und so auf dem präparirten Papiere eine Zeichnung zu erhalten, welche in den lichten Stellen geschwärzt, in den Schattenpartien aber weiß erscheint. Man nennt ein solches Bild mit dem verkehrten Lichteffecte ein negatives Bild, oder kurzweg „ein Negativ.“ Will man ein solches Bild aufbewahren und im gewöhnlichen Lichte ansehen, so muß man natürlich das präparirte Papier für die weitere Lichteinwirkung unempfindlich machen, oder, wie man zu sagen pflegt, man muß das Bild fixiren. Legt man endlich ein fixirtes Negativ, wie früher den Kupferstich, auf ein photographisch präparirtes Papier, so erhält man, da nun die Lichtstellen gedeckt, die Schattenstellen aber der Lichteinwirkung zugänglich sind, ein Bild mit richtigen Licht- und Schatteneffecten, oder ein positives Bild, kurzweg „ein Positiv“ genannt. Es ist klar, daß, wenn man ein präparirtes Papier in den Focus einer Camera obscura bringt, man bei hinlänglicher Einwirkung ein negatives Bild von den vor der Camera befindlichen und im Focus scharf abgebildeten Gegenständen erhalten kann, wovon man denn der Fixation ein Positiv zu erzeugen im Stande ist.

Die eben angegebene Methode ist keineswegs ausreichend, und wird hier nur angeführt, um ein einfaches Bild des ganzen Vorganges zu geben, denn seit Daguerre's Erfindung hat man sich bemüht die Zeit der Einwirkung herabzusetzen, oder, wie man zu sagen pflegt, die Empfindlichkeit der photographischen Substanzen bedeutend zu erhöhen. Doch um der Geschichte dieser schönen Erfindung nicht vorzugreifen, wollen wir die wichtigsten Momente der ersten Zeit chronologisch anführen, und dann speciell auf die einzelnen Methoden und deren Verbesserungen übergehen.

Geschichte der Erfindung. Die chemischen Wirkungen des Lichtes wurden von Scheele im Jahre 1773 entdeckt. Später haben Wedgwood, Davy, Wallaston und Charles Versuche gemacht, um Kupferstiche zu copiren, Bilder des Sonnenmikroskopes zu erzeugen, ja selbst bis zur Camera obscura sind sie in ihren Versuchen gekommen; allein sie vermochten diese Bilder nicht zu fixiren. Im Jahre 1838 verbreitete sich das Gerücht, daß es endlich gelungen sei, die Bilder der Camera obscura getreu, ohne Hülfe eines Zeichners wiederzugeben. Es hatten sich zu diesem Zwecke zwei Männer verbunden, die längere Zeit hindurch unabhängig von einander zu demselben Ziel zu gelangen strebten. Nicephore Niepce und Daguerre waren diese Männer. Der Erstere beschäftigte sich schon seit dem Jahre 1813 mit den Versuchen und sein erstes Gelingen datirt sich vom Jahre 1814. Seine Arbeiten waren damals einfacher Art, Copien von Zeichnungen; erst im Jahre 1824 versuchte er es mit den Bildern der Camera obscura. Seine Methode war die mit Judenpech, die wir ohnedies später kennen lernen werden, da sie in der neueren Zeit wieder Anwendung gefunden hat, für die Darstellung von Phototypien oder Lichtbilderlithographien.

Im Jahre 1827 und 1829 circulirten schon einzelne Bilder seiner Erfindung; er nannte sie Heliographien; allein öffentlich hat er seine Methode nicht bekannt gemacht. Um diese Zeit herum brachte Daguerre in Erfahrung, daß Niepce sich mit diesen Gegenständen beschäftige, und wandte sich brieflich an ihn, mit dem Bemerken, daß auch er schon längere Zeit ein gleiches Ziel anstrebe. Nach längeren rückhaltvollen Correspondenzen kam Daguerre zu Niepce, wo sie mündlich diesen Gegenstand besprachen. Daguerre behauptete, die Bilder der Camera obscura auf ganz anderem Wege als Niepce fixiren zu können, wodurch Niepce sich endlich bewegen ließ vertraulicher zu werden, und am 14. December 1829 unterzeichneten Beide zu Chalons einen Vertrag auf zehn Jahre, in dem aber von Seite Daguerre's nur die Vervollkommnung der Camera obscura besprochen wird. Niepce weihete nun Daguerre vollständig in seine Erfindung ein, und Daguerre war von nun an eifrig bemüht, das Verfahren zu vervollkommnen. Schon früher hatte Niepce Joddämpfe angewendet, und zufälligerweise blieb ein Löffel auf einer mit Joddämpfen imprägnirten Silberplatte liegen, wodurch man eine Abbildung desselben durch den Schatten, den er geworfen, vorfand. Es wurde nun mit Joddämpfen weiter fortgearbeitet, da man deren Lichtempfindlichkeit in Verbindung mit Silber erkannt hatte. Niepce starb um das Jahr 1833 im 63. Jahre seines Alters zu Chalons, ohne die Früchte seines Fleißes genossen zu haben. Allein Daguerre brauchte noch fünf Jahre, um seinen Leistungen jene Vollkommenheit zu geben, welche seiner Erfindung den großen Erfolg sicherte, der ihm bei der Bekanntmachung geworden. Am 7. Januar 1839 sprach Arago in der königlichen Akademie der Wissenschaften davon; das Aufsehen, welches diese Notiz in allen gebildeten Kreisen, die für Kunst und Wissenschaft sich interessiren, gemacht hat, ist hinlänglich bekannt. Alle öffentlichen Blätter hatten sich dieses Gegenstandes bemächtigt, und da noch nichts über die eigentliche Verfahrungsweise bekannt war, so wurde die Spannung um so größer. Die alten Versuche mit Chlorsilber wurden wieder hervorgesucht, die abenteuerlichsten Combinationen gemacht, ohne daß doch die rechte Methode errathen wurde. Am 15. Juni 1829 wurde in der Deputirten-Kammer das Gesetz eingebracht, dem Erfinder Daguerre eine lebenslängliche Pension von 6000 Frcs. und dem Sohne Niepce's eine von 4000 Frcs. zuzusichern. Es wurde diese Pension den beiden Besitzern der Erfindung als eine Nationalbelohnung zuerkannt, mit der Verbindlichkeit, das Verfahren selbst der Oeffentlichkeit preis zu geben. Diese Veröffentlichung geschah am 29. August 1839.

Nicht bald hatte eine Akademiesitzung solches Aufsehen erregt. Das Publikum drängte sich massenweise in den Sitzungssaal und vor denselben, und man war überglücklich nur ein Wort zu erhaschen, um es mit den darüber gehabten Ideen vergleichen, und weitere Versuche anstellen zu können. Seit dieser Zeit sind 18 Jahre verflossen; die schöne Erfindung selbst, so wie Daguerre sie bekannt gemacht, ist fast gänzlich verschollen; doch sind die Erfolge der neueren Zeit weit über die Erfindung Daguerre's hinausreichend, und nur die Genialität des Gedankens bleibt dem Daguerre und Niepce unbenommen. Daguerre selbst hat seine Pension nicht zu lange genossen; er starb im Jahr 1851 am 10. Juli im 62. Jahre seines Alters.

Eine Verbesserung hat seit dieser Zeit die andere verdrängt, und nicht selten wurde ein und derselbe Erfolg von verschiedenen Personen gleichzeitig erzielt, was

oft zu Prioritätsstreitigkeiten Veranlassung gab. So viel von der Geschichte der eigentlichen Erfindung; die späteren Daten ergeben sich bei den nachfolgend beschriebenen Verfahrungsarten von selbst.

Kurze Beschreibung der Erfindung. Daguerre hat seine Bilder auf Silberplatten mit Jod- und Quecksilberdämpfen erzeugt. Niepce hat einen Ueberzug von Judenpech angewendet, ebenfalls auf Metallplatten. Talbot, der vor der Bekanntmachung Daguerre's die Erfindung ebenfalls gemacht haben wollte, und gewissermaßen auch gemacht hat, erzeugte seine Bilder auf Papier, wobei er zuerst ein negatives und dann ein positives Bild erhielt. Die Textur des Papieres hatte bei der Uebertragung einen störenden Einfluß, und Niepce verfiel auf den Gedanken, die Bilder auf Glas zu machen; natürlich mußte das Glas mit einem Ueberzug versehen werden, der die lichtempfindliche Substanz in sich enthielt. Man hat daher in früherer Zeit für die logische Eintheilung der Lichtbildererzeugung die Bilder auf Metall, Papier und Glas festgestellt, und die Kunst, Daguerreotypie, Talbotypie und Niepcotypie genannt. Da aber das Glas mit verschiedenen Substanzen, z. B. Kleister, Leim, Kollodium überzogen werden muß, da man ferner diese Stoffe ihrer Glätte halber auch auf Papier versucht hat, so ist durch alle diese Combinationen die eben erwähnte Eintheilung nicht mehr durchzuführen, und es sollen in der nachfolgenden Abhandlung die einzelnen Methoden vorzugsweise nach den Stoffen behandelt werden, welche die photographische Substanz aufzunehmen haben, nicht aber nach den Unterlagen, daher wir von Bildern auf Silberplatten, auf Papier, auf Eiweiß, auf Kollodium, auf Leim, auf Kleister rc. rc. sprechen werden. Noch bleibt mir die Bemerkung übrig, daß der Name Photographie ein allgemeiner ist, während das Publikum Papierbilder darunter versteht; eine sprachliche Unrichtigkeit, die trotz aller Gegenbemerkungen eben so wenig auszurotten ist, als daß viele und selbst gebildete Frauen Phortographie sagen, als Reminiscenz für den ihnen geläufigen Ausdruck Fortepiano.

Von den Apparaten, welche bei der Ausübung der Photographie gebraucht werden. Der Weg, auf welchem man photographische Zeichnungen erhalten kann, ist ein zweifacher. Entweder handelt es sich um die Reproducirung eines Kupferstiches, eines Baumblattes, eines Spitzenmusters, einer Zeichnung und dergleichen, oder aber um Erzeugung von Bildern durch die Camera obscura. Die ersteren Bilder erhält man durch bloßes Auflegen des abzubildenden Gegenstandes auf die photographisch präparirte Unterlage; die zweite direct im Bildraume der Camera obscura. Für die erstere Art von Bildern gebraucht man den sogenannten Copirrahmen, der auch für die Camera obscurabilder größtentheils nöthig wird, da sie gewöhnlich als negative Bilder erzeugt werden, und erst durch das sogenannte Umkehren positiv gemacht werden müssen. Uebrigens fehlt es auch nicht an Methoden, in der Camera obscura selbst direct positive Bilder, d. h. Bilder mit richtigem Licht- und Schatteneffect zu erzielen.

Ueber die Camera obscura. Was den optischen Theil anbelangt, so gehört derselbe in das Gebiet der praktischen Optik, und es sind in dem gegenwärtigen Artikel nur jene Forderungen angegeben, welche die Photographie an den genannten Apparat zu stellen hat. Leider sind die Gesetze des Lichtes der Art, daß ein und derselbe Apparat nicht allen Anforderungen genügen kann, sondern gewöhnlich wird eine gute Eigenschaft auf Kosten der anderen gesteigert, und wenn

der praktische Photograph nicht im Stande ist, sich für verschiedene Zwecke mehrere Apparate anzuschaffen, so muß er sich allerdings mit nur einem Apparate behelfen, der in einzelnen Fällen so manches zu wünschen übrig läßt. Es sind dies die sogenannten Portraitirungsapparate mit einer Linsencombination, deren vordere Linse zugleich als Landschaftsobjectiv gebraucht werden kann. Ein Portraitapparat soll lichtstark sein, muß daher eine große Oeffnung und kurze Brennweite haben, wodurch es leicht geschieht, daß er am Rande verwaschene Bilder giebt, die mit der Schärfe im Mittelpunkt desto mehr contrastiren, je kürzer die Brennweite ist. Zugleich hat ein solcher Apparat nicht selten die üble Eigenschaft, stark zu verzeichnen, und zwar in Folge der Kugelabweichung und in Folge der verschiedenen Distanzen des Apparates von dem aufzunehmenden Gegenstande. Die Kugelabweichung giebt nämlich gerade Linien gekrümmt, so zwar, daß ein viereckiger Gegenstand, wie z. B. ein begrenzter Kupferstich, statt mit geraden Linien mit Kreissegmenten eingefaßt ist. Bei Portraiten sieht man zwar die Abweichungen als solche nicht, sie schaden aber doch der Aehnlichkeit um so mehr, wenn die verschiedene Distanz, welche zwischen Augen, Ohren und Nase stattfindet, wegen zu großer Nähe der Camera obscura bei der Aufnahme in Wirksamkeit tritt; dieses ist ferner besonders der Fall bei Händen und Füßen, die gewöhnlich weit vorstehen, und daher in unverhältnißmäßiger Größe erscheinen. Alle diese Uebelstände hat der geschickte Optiker durch glückliche Wahl der Krümmungshalbmesser, und durch die gegenseitige Linsenstellung, so wie durch zweckmäßig angebrachte Diaphragmen auf ein Minimum zurückzuführen. Solche Diaphragmen sind natürlich nur dann anzubringen, wenn eine verringerte Lichtstärke keinen Schaden macht. Im diesem Falle hat man bei der Landschaftslinse, die gewöhnlich aus einem achromatischen Objective besteht, das Diaphragma in einer Entfernung von 2 bis $2^1/_2$ Zoll anzubringen. Das Diaphragma hat meistentheils 1 Zoll Oeffnung, während die Linse selbst 3 Zoll im Durchmesser hat. Diese Construction der Camera obscura für Landschaften ist von Daguerre selbst eingeführt und läßt wirklich wenig zu wünschen übrig.

Der Portraitirungsapparat besteht aus einem Doppelobjective, und da ist es zweckmäßiger, das Diaphragma, wenn man eines anwenden kann und will, zwischen den 3 bis 4 Zoll von einander entfernten Linsen anzubringen, wodurch das Bild, bei ziemlich gleicher Schärfe, an Lichtstärke gewinnt. Waibel in Wien macht in neuerer Zeit alle seine Apparate auf diese Art.

Von den Glassorten und der Differenz zwischen chemischem und optischem Brennpunkt. Die Glassorten, die zu den Objectiven genommen werden, sollen natürlich, wie bei allen optischen Apparaten, wellenfrei, bläschenfrei, und so viel wie möglich farblos sein. Das Glas mit dem stark grünen Stich sucht man wohl am meisten zu vermeiden; jedoch giebt es vortrefflich zeichnende Apparate, welche mehr oder weniger mit allen diesen Fehlern behaftet sind, indem bei der Verkleinerung des Bildes die Schärfe für unsere unbewaffneten Augen hinlänglich groß ist, als daß ein kleiner Unterschied derselben am Bilde bemerkt werden könnte. Weit mehr Sorgfalt haben die Optiker auf die Wahl der Krümmungshalbmesser, gegenseitige Stellung der Linsen und die Achromatisirung derselben zu verwenden, indem, wie gesagt, von der ersteren die richtige Zeichnung, von der letzteren die Farblosigkeit des Bildes, und namentlich das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Differenz zwischen dem chemischen

und optischen Brennpunkt abhängt. Viele Optiker legen einen großen Werth darein, wenn bei ihren Apparaten diese Differenz nicht nachweisbar ist.

Es ist dieser Gegenstand zu wichtig, als daß wir ihn hier übergehen könnten. Die Erscheinung, von der wir zu sprechen haben, besteht darin, daß ein auf dem matten Glase des Apparates vollständig scharf eingestelltes Bild bei der chemischen Erzeugung des Bildes selbst nicht mehr scharf erscheint, oder wenigstens an anderen Punkten, die man beim Einstellen gerade nicht berücksichtigt hat; so z. B. giebt es Apparate, bei denen die Ohren des zu Portraitirenden scharf erscheinen, wenn auf die Augen eingestellt worden ist. Es hängt dieser Uebelstand von dem Umstande ab, daß die verschieden gefärbten Strahlen verschieden gebrochen werden, und daher auch jede Farbe für sich gleichsam ihren eigenen Focus hat; es entsteht so bei einer gewöhnlichen Linse eine Reihe von Bildern hinter einander, von denen das Bild der gelben Strahlen das lichtstärkste ist, daher man nach demselben das Bild auf der matten Glastafel scharf einstellt. Ungünstigerweise sind aber die gelben Strahlen nicht die chemisch wirksamsten, sondern die blauen und violetten, deren Brennpunkt näher an der Linse liegt als die der rothen und gelben; man muß daher die Linse so einstellen, daß der Vereinigungspunkt der blauen und violetten Strahlen mit dem matten Glase, und später mit der photographisch präparirten Fläche zusammenfällt. Diesem Uebelstand soll nun das vollständige Achromatisiren der Linse abhelfen, indem dadurch alle Bildflächen einander so nahe als möglich gerückt werden, wo sie sich gegenseitig nahezu decken. Allein eine ganz vollkommene Achromatisirung ist nicht möglich, und das größere oder geringere Farbenzerstreuungsvermögen des gewählten Flintglases achromatisirt das Crownglas entweder zu wenig oder möglicherweise auch zu viel, und es entsteht dann ebenfalls eine Differenz zwischen dem optischen Brennpunkte und dem chemischen, wie bei den nicht achromatisirten Linsen. Dies ist die gewöhnliche Erklärung über das Vorhandensein der Differenz zwischen den beiden genannten Brennpunkten, obgleich ich offen gestehe, daß sie mir nach den Erfahrungen, die ich an den verschiedenen Apparaten gemacht habe, nicht recht genügt, ohne daß ich im Stande bin eine bessere dafür zu geben. Es wäre wünschenswerth, daß darüber streng wissenschaftliche Versuche angestellt würden, und wie ich höre, hat ein Franzose eine andere Erklärung dieser Erscheinung gegeben, die ich jedoch leider nicht kenne.

Um dem üblen Einfluß der besprochenen Differenz zu entgehen, muß man zuerst seinen Apparat prüfen, ob sich überhaupt eine solche Differenz nachweisen läßt oder nicht. Man stellt in Portraitdistanz eine feine Schrift scharf auf der matten Glastafel ein und macht ein Bild derselben. Ist dieses Bild ebenfalls scharf, so findet keine Focusdifferenz statt, und man hat weiter nichts zu thun; ist das Bild aber nicht scharf, so muß man die Focusdifferenz genauer bestimmen. Dazu giebt es nun verschiedene Wege. — Man nehme Spielkarten, stecke dieselben hinter einander in Distanzen von einem halben Zoll so in ein Brett, daß immer eine von der andern nach rechts etwas vorsteht; man stellt auf die mittelste der Karten scharf ein und macht ein Bild. Wenn eine Focusdifferenz vorhanden ist, so wird nicht die Mitte der eingestellten Karten, sondern eine mehr vorne stehende oder weiter zurückstehende scharf abgebildet erscheinen. Man merkt sich nun die Stelle an der Fassung des Objectives an, bei der die mittlere Karte auf dem matten Glase scharf erscheint, und diejenige Stelle, bei welcher die der scharf abgebildeten

Karte in gleicher Distanz entgegengesetzt liegende scharf erscheint; die Differenz zwischen den Stellungen des Objectives in beiden Fällen giebt für die gegebene Entfernung der Camera obscura vom Objecte auch die Brennpunkt-Differenz, um welche man das Objectiv herausrücken muß, wenn eine spätere Karte scharf gezeichnet wird, und hineinrücken, wenn eine frühere Karte schärfer erscheint als die mittlere. Statt der Karten kann man auch ein mit großen Zeilen bedrucktes Placat notenpultartig unter 45° aufstellen; man stellt dann die mittelste Zeile scharf ein, und macht ein Bild dieses Placates. Die Zeilen vertreten dann die Stelle der Karten und durch die schiefe Lage des Objectes wird die verschiedene Distanz erreicht; im übrigen bleibt das weitere Verfahren dasselbe. Löcherer verkauft eine Methode, die er als Geheimniß bewahrt, um den photochemischen Brennpunkt in jedem Objective augenblicklich zu reguliren. Skopal empfiehlt als Surrogat dafür mit einem sehr kleinen Diaphragma haarscharf einzustellen, und das Diaphragma dann wegzunehmen. Es ist klar, daß die Differenz zwischen den oft erwähnten beiden Brennpunkten auch durch unrichtige Construction der Kasetten in Bezug auf das matte Glas entstehen, oder wenigstens vergrößert, ja sogar durch die unrichtige Construction derselben aufgehoben werden kann, wenn sie überhaupt vorhanden ist; und es kann mancher Optiker behaupten, sein Objectiv habe keine Brennpunkt-Differenz, weil er sie für gewöhnliche Brennpunkt-Distanzen in seinen Kasetten regulirt hat.

Kasetten. Unter Kasette versteht man den Rahmen, in welchem das präparirte Papier oder die präparirte Glasplatte eingelegt werden. Es giebt hierbei ebenfalls verschiedene Constructionen, die nach Willkür der Optiker ausgeführt werden. An und für sich sind diese Constructionen gleichgültig, nur müssen sie folgende Eigenschaften besitzen. Die Kasetten müssen leicht und schnell mit der matten Glastafel vertauscht werden können; die photographisch präparirte Fläche muß haarscharf an die Stelle des matten Glases kommen; in der Kasette muß vorne ein Thürchen oder Schieber angebracht werden; rückwärts muß ein Brettchen einfügbar sein, und alle Spalten und Ritze müssen der Art gedeckt erscheinen, daß nirgends ein Lichtstrahl eindringen kann. Da man gerne mit verschiedenen Bildgrößen arbeitet, so ist die Camera gewöhnlich für das größte Bild construirt, und für die kleineren hat man Kasetteneinlagen, die den jeweiligen Anforderungen entsprechen.

Universalcamera. Der Umstand, daß man bald große bald kleine Bilder, bald Landschaften, bald Copien von Medaillen zu machen wünscht, erfordert Kammern von verschiedener Größe, und namentlich von verschiedener Bilddistanz. Man ist daher auf die Idee gekommen, sogenannte Universalkammern zu construiren, die in ihrer zweckmäßigsten Form aus zwei Rahmen bestehen, die parallel mit einander in Nuthleisten verschiebbar sind; der vordere Rahmen trägt das Objectiv, der rückwärtige die Kasette, und der Zwischenraum zwischen beiden Rahmen, der natürlich gedeckt sein muß und den Körper der Camera bildet, besteht aus einem parallelepipedischen Harmonikablasbalg, der jedwedige Distanz des Objectivrahmens vom Kasettenrahmen zuläßt. Leisten, Spangen oder Schrauben sind an gewissen Stellen zweckmäßig angebracht, um die beiden Rahmen unveränderlich mit einander zu verbinden, und jedes Wackeln oder Zittern zu verhindern. Es ist zweckmäßig, wenn jeder Photograph eine Portraitkammer und eine Universalkammer besitzt.

Stativ. Es ist sehr unbequem, die Kammern auf einen Tisch zu stellen, besonders wenn man im Freien arbeitet, daher jedem vollständigen photographischen Apparate Stative beigegeben sind: Dreifüße, wie man sie bei Meßtischen hat, die oben mit einer Nuß oder Drehscheibe versehen sind, und ein Heben oder Senken der Camera obscura erlauben. Jeder Optiker hat für die Construction der eben allgemein beschriebenen Apparate seine eigenen Modelle, fast jeder Photograph seine eigenen Meinungen, so daß ich es zweckmäßiger hielt, keine Zeichnung beizugeben, da die Formen der Apparate in ihren Einzelnheiten fast täglich wechseln.

Verschiedene photographische Methoden erfordern auch noch verschiedene Nebenapparate, die bei Gelegenheit der Methoden selbst beschrieben werden.

Daguerreotypie oder die Kunst, Lichtbilder auf Silberplatten zu erzeugen. Daguerre's Methode bestand ursprünglich darin, daß man eine schön polirte, silberplattirte Kupferplatte durch Putzen mit Salpetersäure und geschlemmtem Bimsstein von allem anhängenden Fett und Schmutz reinigte, kurz eine vollkommen metallisch reine Oberfläche herstellte. Diese Silberplatte legte man in einen Kasten, auf dessen Boden sich Jod in Pulverform befand, wodurch die Silberfläche einen Jodanflug bekam, der nach Maßgabe seiner Dicke und den Gesetzen der Farben dünner Körper alle Tonstufen von Blaßgelb durch Rosa, Orange, Kupferroth, Violett, Stahlblau bis wieder zum Gelb durchmachte, wo dann eine zweite Reihe der Newton'schen Farben entsteht. Man ließ die Platte so lange über den Joddämpfen, bis sie eine orangengelbe, höchstens rosafarbige Nuance angenommen hatte. In diesem Zustande, wobei man Sorge tragen mußte, daß der Anflug ganz gleichförmig war, brachte Daguerre die Platte in den Brennpunkt der Camera obscura, und nahm sie nach Verlauf von 10 bis 15 Minuten wieder heraus, natürlich ohne vom Lichte getroffen zu werden, und brachte sie dann in einen Kasten, auf dessen Boden sich eine Schale mit Quecksilber befand, das bis auf 60° R. durch eine Spiritusflamme erhitzt wurde. Ein in das Quecksilber eingetauchter Thermometer zeigte die Temperatur, bei welcher man die Lampe entfernte, wobei man durch ein am Quecksilberkasten angebrachtes Fensterchen das Erscheinen des Bildes beobachtete. Hatte es die gehörige Kraft erreicht, so wurde es herausgenommen, ebenfalls im Dunkeln in eine siedendheiße Kochsalzlösung oder unterschwefligsaure Natronlösung getaucht, wodurch die Jodsilberschichte entfernt wurde, und wornach man blos die Platte mit siedendheißem destillirten Wasser abzuwaschen brauchte, um das Bild fixirt zu erhalten, und vollkommen fertig einrahmen zu können.

Erklärung des Daguerreotypprocesses. Die physikalische Erklärung dieser Erscheinung ist wohl gegeben; allein eine eigentliche bestimmte Nachweisung der Richtigkeit mangelt insofern, als wir ja überhaupt über die chemische Wirkung des Lichtes, in Bezug auf ihre letzte Ursache, wenig Bestimmtes wissen. Das Jodsilber, welches sich durch die Joddämpfe auf der Silberplatte bildet, ist mit derselben ziemlich fest verbunden, es läßt sich nicht leicht wegreiben. Setzt man aber eine jodirte Silberplatte dem Lichte aus, so wird die gelbe Schichte braun und grünlich, und diese Substanz läßt sich wie der Reif an Pflaumen mit dem Finger sehr leicht wegwischen. Man glaubt nach Analogie mit dem sich am Lichte schwärzenden Chlorsilber annehmen zu dürfen, daß sich durch die Einwirkung des Lichtes Jod von der Platte entfernt und das Silbersalz in ein Subjodid über-

geht, welches in Pulverform (amorph) zurückbleibt und dadurch die Eigenschaft erhält, nach Maßgabe der Lichteinwirkung die Quecksilberdämpfe mehr oder weniger reichlich zu condensiren. Dies die bis jetzt bestehende Erklärung der Vorgänge bei dem Daguerreotypproceß.

Bei dem alten Versuche nach Wollaston, Davy ꝛc. mußte man die Lichteinwirkung direct so lange abwarten, bis dieselbe so kräftig war, daß sie dem Auge als Bild erschien; alle Methoden, welche seit Daguerre in der Photographie aufgetaucht sind, gehen dahin, den noch unsichtbaren Beginn der Lichteinwirkung durch eigenthümliche Manipulationen dem Auge sichtbar zu machen, und dadurch die Zeit der Lichteinwirkung selbst so viel wie möglich herabzusetzen. Man nennt dieses Sichtbarmachen des noch nicht vollständig entwickelten Bildes das Hervorrufen oder Entwickeln der Photographie.

Von dem Putzen der Platten. Es ist klar, daß eine so interessante Erfindung eine Unzahl von Verbesserungen in kürzester Zeit erfahren mußte. Alle Welt hat sich damit beschäftigt; Gelehrte wie Dilettanten haben Bilder erzeugt, und so kam es bald, daß die ursprüngliche Methode Daguerre's ganz in ihrer Verfahrungsweise modificirt wurde. Als Putzmaterial wurde sehr bald der grobe und scharfe Bimsstein verworfen; an seine Stelle traten die weicheren Schaffnochen, der polirende Kalk, das glanzgebende Engelroth, der calcinirte Tripel, die kohlensaure Magnesia, selbst das Haarpuder, kurz alle nur möglichen Pulversorten wurden angewendet, um im direct reflectirten Lichte eine reine, glänzende, im seitlich reflectirten Lichte aber eine tiefe schwarze Oberfläche zu erhalten. Dieses letztere ist besonders darum nothwendig, weil die Daguerreotypien ihre Kraft in den Schattenpartien durch die hohe Politur erhalten. Das Putzen selbst findet zuerst mit Oel und dem Politurpulver statt, dann mit Spiritus oder Lavendelöl, oder Salpeteräther, indem man mit diesen Flüssigkeiten und dem Pulver einen Teig auf der Platte bereitet, der die Fette des schleifenden Oeles entfernt, zuletzt putzt man mit trockener Wolle und Putzpulver. Da die Wolle aber sehr häufig feucht, schwierig zu trocknen ist, und überdies Kratzstriche auf der Platte erzeugt, so hat man sehr bald den Gebrauch der Wolle aufgegeben; wenigstens in Bezug auf die letzten Striche. Man hat statt derselben Sammtfeilen, Filzfeilen, Lederfeilen von in Schwefeläther ausgewaschenem Rohleder anempfohlen, so daß fast jeder Photograph nach einer anderen Methode seine Platten putzte.

Von dem Jodiren. Bei der Aufnahme einer Landschaft mußte man nach Daguerre 10, 15, 20 ja 30 Minuten lang exponiren; mit den später erfundenen lichtstarken Portraitirungsapparaten konnte man ein Portrait erst in 3, 5 bis 7 Minuten zu Stande bringen; es war daher Bedürfniß, ein photographisches Mittel zu finden, welches in weit kürzerer Zeit ein Resultat lieferte. Claudet in England und Natterer in Wien kamen zu gleicher Zeit auf den Gedanken, Chlor- und Bromdämpfe anzuwenden; die Chlordämpfe wurden aus Chlorwasser, die Bromdämpfe aus Bromwasser entwickelt, die vorjodirte Platte nur kurze Zeit darüber gelegt, so daß der Farbenton von dem Dunkelgelb ins Kupferrothe abdunkelte, worauf man die Platte exponirte, und in der überraschend kurzen Zeit von 4 bis 5 Secunden, ja sogar augenblicklich, in dem Zeitraum eines Bruchtheils einer Secunde, konnte man mit diesen beschleunigenden Substanzen Landschaften mit Staffage aufnehmen. Die physikalische Erklärung der Beschleunigungssubstanzen, namentlich der Chlor- und Bromdämpfe, ist keineswegs

bekannt, indem Chlor- und Bromdämpfe, für sich allein auf die Platte gebracht, keine genügenden Resultate liefern, und nur in Verbindung mit Jod zum Ziele führen. Die genannte Erfindung leitete zu der Idee, Chlor und Jod nicht nach einander, sondern zu gleicher Zeit auf die Platte aufzutragen; man hat daher Jodchlorür und Jodbromür erzeugt, und die Platte damit photographisch überzogen. Alle diese Dämpfe aushauchenden Substanzen waren in flüssiger Form, mit bloßem Wasser verdünnt, angewendet. Sie wurden in einer gewissen Concentration in eine Schale gegossen, die man mit einer aufgeschliffenen Glastafel verschloß, um das freiwillige Verdampfen zu verhindern. Eben so hat Archer statt des festen Jodes einfache, mit Wasser verdünnte Jodtinctur angewendet. Alle diese Flüssigkeiten, welche die verschiedenartigsten Namen z. B. Liqueur allemande, Liqueur Valincourt etc., nach den Erfindern der Zusammensetzungsverhältnisse erhielten, mußten den aus Bromkalk sich entwickelnden Dämpfen der amerikanischen Methode weichen, welche wir am Schlusse als die gegenwärtig praktischste näher beschreiben werden. Daguerre hatte das Jod in einem eigenen Kästchen, die Platte mußte in einem eigenen Metallrahmen liegen; Kästchen und Jodirungsrahmen erhielten unzählige Veränderungen und Verbesserungen, sie wurden hoch und niedrig gemacht, mit Glas ausgefüttert, mit Windflügel versehen, um den hineingebrachten Bromdampf gleichmäßig zu verbreiten, kurz die Geschichte der Erfindungen ist auch in dieser Beziehung reich an vielfältigen Modificationen. Zu diesen letzteren gehört z. B., daß man in einem niedrigen Jodkästchen eine Pappe, die man ganz mit Joddämpfen sich imprägniren ließ, zur Bejodung verwendet. Das Jod lag nämlich am Boden auf Tuch, die Pappe in einiger Entfernung darüber und über die durch und durch jodirte Pappe wurde in Entfernung von 3 bis 4 Linien die Silberplatte gelegt, die sich dann sehr gleichförmig bejodete, wobei man sich aber zu hüten hat, daß kein festes Jodkorn an der Pappe klebt, welches dann ungleich ausdampft. Schließlich darf nicht unerwähnt bleiben, daß man Chloroform und Bromoform, chlorigsaures Gas, Ammoniakgas, Chlorschwefel als beschleunigende Substanzen angewendet hat, unter denen besonders der Chlorschwefel zu bemerken ist, dessen Anwendung von Natterer entdeckt wurde, und der zugleich die Eigenschaft hat, daß die Bilder unmittelbar nach der Belichtung sichtbar werden, ohne erst den Quecksilberdämpfen ausgesetzt werden zu müssen. Es ist zu wundern, daß diese Methode, namentlich in phototypischer Beziehung, nicht weiter untersucht worden ist.

Bei allen beschleunigenden Substanzen muß man das zu Viel besonders zu vermeiden suchen, weil sonst der sogenannte Bromschleier, Chlorschleier &c. entsteht.

Von der Exposition im Lichte. Die Expositionszeit ändert sich mit der Empfindlichkeit der Platte, sie läßt sich nur durch die Erfahrung bestimmen, und es ist dabei zu bemerken, daß überlichtete oder solarisirte Platten einen unangenehmen blauen Ton annehmen, der unbedingt zu vermeiden ist. Man hat vorgeschlagen, in die Camera obscura während der Exposition ein Baumwollbäuschchen mit Aether befeuchtet hineinzulegen; wohl auch mit Ammoniak, was gute Wirkung thun soll.

Vom Quecksilbern der Platten. Diese Operation hat am wenigsten Veränderungen erlitten; der alte Daguerre'sche Quecksilberkasten blieb in seinem Rechte, und selbst der Einlagswinkel von 45° wurde beibehalten, und

die einzige wesentliche Veränderung, die aufgetaucht ist, bestand in der Anwendung einer amalgamirten Silberplatte, die man als Bodenplatte eines Kästchens benutzte, dessen Deckel gleichsam durch das Daguerre'sche Bild gebildet wurde. Die Platte mußte natürlich erhitzt werden. Die wesentlichsten Vorsichten, die man bei der Operation des Quecksilberns zu beobachten hat, sind die, daß man das Quecksilber nicht überhitzt, wobei gewöhnlich das Thermometer springt, daß man das Quecksilbern nicht zu lange fortsetzt, wobei sich leicht ein Quecksilberschleier bildet, der sich auf den Schattenpartien in weiten von einander abstehenden Punkten ablagert, wohl zu unterscheiden vom Bromschleier, der durch das Ueberbromiren der Platte entsteht, oder auch, wenn die lichtempfindliche Platte während des Quecksilberns von zu starkem Kerzenlicht getroffen wird. Es hat dieser Bromschleier eine gewisse Stätigkeit, mit der er sich über das ganze Bild hinzieht. Ferner muß man die Platte, wenn man sie aus kalter Temperatur in den Quecksilberkasten bringt, früher erwärmen, damit sie durch den Temperaturwechsel nicht beschlägt.

Eines Vorschlages muß ich noch erwähnen, der darin besteht, in der Camera obscura nahe an der Platte eine eiserne Rinne anzubringen, die mit Quecksilber gefüllt wird, und die von Außen erhitzt werden kann, so daß man während der Exposition zugleich bequecksilbert, wobei man den ganzen Proceß durch ein in der Camera angebrachtes, mit einem rothen Glase geschlossenes Fenster beobachten könnte, um so das Bild zur rechten Zeit aus der Camera zu entfernen.

Je weißer bei allen Methoden der Quecksilberbeschlag wird, desto schöner ist das Bild.

Von dem Vergolden der Photographien. Die bläuliche Farbe, welche ein überlichtetes Bild im Quecksilberkasten annimmt, so wie der Umstand, daß die Quecksilberschichte wie ein Hauch auf der Platte haftet, und selbst durch die leiseste Berührung zerstört wird, haben es wünschenswerth gemacht, die Quecksilberschichte auf der Platte mit einem Ton zu befestigen, der mehr in das Hellweiße spielt, was namentlich bei der Wäsche eines Portraites sehr wünschenswerth ist. Fizeau hat die Erfindung gemacht, durch ein feines Goldhäutchen diesen Zweck zu erreichen. Er löst einige Gran Chlorgold in einer unterschwefligsauren Natronlösung auf, entfernt die Jodschicht zuerst mit unterschwefligsaurem Natron, legt die nasse Platte auf den sogenannten Vergoldungsrost, schüttet von der Goldsolution gerade so viel durch den Rost auf die vollkommen horizontal gestellte Platte, als freiwillig darunter stehen bleibt, erhitzt mit einer unter die Platte gehaltenen Spiritusflamme die Flüssigkeit bis zum Sieden, wobei sich das Gold in Gestalt eines metallischen Häutchens auf die Platte niederschlägt, und das Ganze, wenn es nicht zu sehr überlichtet war, weiß erscheint. Hat aber die Exposition zu lange gedauert, so wird das Bild statt blau blaugrün und ist fast noch widerlicher anzusehen. Das Goldhäutchen darf nicht zu dick werden, weil es sich, besonders wenn die Platte schlechter geputzt ist, leichter ablöst. Durch richtiges Vergolden erhält das Bild eine gewisse Festigkeit; man kann es nämlich mit einem feinen Haarpinsel abstauben, ein stärkeres Reiben verträgt es freilich nicht. Nach dem Vergolden wird das Bild mit destillirtem Wasser abgewaschen und zweckmäßig eingerahmt, besser gesagt, eingepappt. Die Glasplatte muß durch eine Zwischenlage von der Daguerre'schen Platte getrennt sein; am zweckmäßigsten sind die Cartons von dickem Kartenpapier, die so ausgeschnitten werden, daß das Bild eine

viereckige Form mit abgerundeten, nicht abgehackten Ecken erhält, wenn man nicht eine elliptische Form der Cartons vorzieht.

Eine Verirrung des Kunstsinns hat die Daguerreotypie mit Farben bekleidet. Man trägt trocken Pastellfarben mittelst eines Pinsels auf die zu bemalenden Stellen des vergoldeten Bildes und bläst sie mittelst eines Blasbalges wieder weg; ein feiner Anflug bleibt auf der bemalten Stelle zurück, besonders wenn die Farben gummirt waren, und durch Anhauchen etwas haftend gemacht werden.

Amerikanische Methode. Diese Methode, welche jetzt überall angewendet wird, unterscheidet sich von der gewöhnlichen vorzüglich dadurch, daß man dabei galvanisch versilberte Platten anwendet, die mit Sammtbürsten besonders rein geputzt und dann jodirt und endlich mittelst Bromkalk überbromt werden.

Galvanische Versilberung. Man bereitet ein Silberbad aus Cyankalium und kupferfreiem salpetersaurem Silberoxyd, indem man 1 Loth Höllenstein in 5 Loth Wasser auflöst; diese Flüssigkeit gießt man unter immerwährendem Umrühren in andere 25 Loth Wasser, in welchem 5 Loth, nach Anderen 10 Loth Cyankalium aufgelöst werden.

Eine andere, vielleicht zweckmäßigere Methode das Versilberungsbad zu bereiten, dürfte folgende sein: Man bereitet sich von 12 Loth Cyankalium eine concentrirte Lösung und gießt von derselben einen dünnen Strom unter Umrühren so lange in eine Höllensteinlösung (1 Loth Höllenstein, 40 Loth Wasser), bis der sich bildende Niederschlag wieder aufgelöst ist. Das etwa übrigbleibende Cyankalium verwendet man ein nächstes Mal, worauf man das Bad filtrirt und zum Versilbern benutzt.

Man nimmt nämlich die wohlgeputzte, auf der Rückseite mit Firniß überzogene Silberplatte und hängt sie mittelst eines in zwei Enden auslaufenden Drahtes, der durch zwei in den Ecken angebrachte Löcher geht, vertical in das Silberbad; ihr gegenüber befindet sich ebenfalls an einem Drahte eine dünn gewalzte halb so große Silberplatte; werden nun die Drähte mit einem galvanischen Elemente verbunden, und so ein elektrischer Strom eingeleitet, während die Platten im Silber-Cyankaliumbade hängen, so wird sich bei richtiger Anordnung des Ganzen die Daguerre'sche Platte versilbern.

Dieser Silberüberzug darf nicht zu dick werden, was jedoch bald durch die Erfahrung bestimmt wird; er muß gleichmäßig mattweißlich erscheinen, worauf man die Platte herausnimmt, im Wasser abspült, trocknen läßt und neuerdings auf gewöhnliche Weise polirt. War schon auf der Platte ein vergoldetes Bild, so muß dieselbe vor der Versilberung tüchtig mit Knochenpulver und Oel polirt werden, bis jede Spur von einem Bilde verschwunden ist, was man allenfalls durch eine vorläufige Bejodung leicht erproben kann, nur muß natürlich die Jodschichte wieder mit Weingeist und Tripel weggeputzt werden, bevor man das Silberbad anwendet. Der Firniß, mit dem man die Rückseite der Platte überzieht, besteht aus gewöhnlichem Copalfirniß, den man mit so viel chromsaurem Blei abreibt, daß er etwas dickflüssig wird; man trägt ihn mittelst eines Pinsels auf, ohne ihn über die Ränder fließen zu lassen.

Vom Putzen der Platten. Bevor man die Platte auf den Putzklotz giebt, den Le Chros ganz eigenthümlich construirt, der aber natürlich auch auf ganz gewöhnliche Weise eingerichtet sein kann, biegen die Amerikaner die Ränder

ihrer Platten etwas nach rückwärts, indem sie die letzteren auf eine gerad-kantige Eisen- oder Stahlplatte legen und mit einem eisernen Kolben längs des etwas vorstehenden Randes der Platte stark drückend hin- und herfahren, während die Platte selbst flach aufliegt und auf irgend eine Weise fest niedergehalten wird.

Die Putzfeilen sind von Holz, 12 bis 20 Zoll lang, 10 Zoll breit, in der Mitte mit einem Ansatze als Handhabe versehen; sie werden an der unteren flachen Seite mit Watte belegt und zuletzt mit einem straff gespannten Stoffe überzogen. Bei zwei solchen Feilen oder Hobeln wird dazu Damhirschleder, bei dem dritten weißer Wollsammt gewählt; den einen, welchen man zum ersten Glanzgeben benutzt, bestreut man alle 2 bis 3 Tage mit Rouge und bürstet das überflüssige Pulver mit einer nur dazu gebrauchten Bürste weg. Das zweite Lederkissen und das Sammtkissen werden seltener und mit weniger Rouge eingestreut. Man beginnt das Putzen mit calcinirtem Bimsstein oder Tripel und mit Weingeist, oder wenn ein fixirtes Bild weggeschafft werden soll, mit angesäuertem Steinöl, indem man auf gewöhnliche Weise mittelst eines Baumwollbäuschchens in kreisförmigen Strichen über die Platte wegschreitet; hierauf trocknet man die Platte durch Putzen mit trocken aufgestreutem Pulver. Nun nimmt man die erste Putzfeile, die, wie die übrigen, weder feucht noch staubig sein darf, und polirt die Platte diagonal abwechselnd von der rechten Ecke zu der Linken, und wieder umgekehrt von der linken nach der rechten. Mit der zweiten Feile beginnt man eben so, endet aber in Strichen, die senkrecht stehen, auf die Richtung des aufzunehmenden Portraits. Mit der Sammtfeile giebt man den letzten Glanz ebenfalls in ähnlichen Strichen, deren Richtungen also parallel mit dem unteren Ende des zu machenden Bildes laufen müssen.

Vom Jodiren der Platten. Das Bejoden der rein geputzten Platte geschieht auf gewöhnliche Weise über trockenem Jod oder einer mit Joddämpfen gleichförmig imprägnirten Masse, bis die Platte eine tief orangengelbe Farbe angenommen hat, hierauf schreitet man zur Bromirung mittelst einer Bisquitbüchse nach Baron Le Gros. Er empfiehlt poröse Pfeifenthonplatten (halbgebrannte Thonplatten oder Bisquitplatten) und construirt sich aus einer solchen und aus mattgeschliffenen Glasstreifen und einer gleich großen Glasplatte, die er zusammenleimt, eine seichte Büchse, in welche er das Jod, vorzüglich aber den Bromkalk und Chlorobromkalk einschließt. Dieselbe ist mit Ausnahme auf der Seite, wo die Thonplatte sich befindet, hermetisch verschlossen. Diese Thonplatte aber, die er mit Kienruß schwärzt, imprägnirt sich mit den Gasen und dient so zur Bejodung &c. Es ist klar, daß man diese Büchse so construiren muß, daß sie außer Gebrauch über der Thonplatte ebenfalls hermetisch geschlossen werden kann. Oder endlich auch, man breitet den Bromkalk in einer Tasse gleichförmig aus, und giebt die bejodete Platte über die Bromdämpfe, bis dieselbe dunkelrosa oder violett geworden; Nun ist die Platte zur Exposition vorbereitet, die mittelst der gewöhnlichen Kasetten auf gewöhnliche Weise vorgenommen wird. Es versteht sich von selbst, daß die Bromkalktassen, wenn man sie nicht braucht, durch gut schließende Glasplatten oder Glasschieber luftdicht verschlossen gehalten werden müssen. — Le Gros empfiehlt statt des Bromkalkes chlorirten Bromkalk anzuwenden.

Quecksilbern. Man erhitzt das Quecksilber im Kasten auf 40 bis 47° R.,

läßt es bis 20° abkühlen, erhitzt es neuerdings auf 40°, worauf es abermals abkühlen muß, immer ohne das Bild anzusehen.

Waschen. In 8 Loth Wasser werden $^3/_4$ Loth unterschwefligsaures Natron aufgelöst, davon so viel auf die in einer kleinen Tasse liegende Platte gegossen, daß diese mit Flüssigkeit überdeckt ist. Die benützte Flüssigkeit wird weggegossen. Die Platte wird in destillirtem Wasser abgespült.

Vergolden. Die Vergoldungsflüssigkeit bereitet man folgendermaßen: 3 Gran Goldchlorid und 9 Gran unterschwefligsaures Natron werden jedes in 6 Loth Wasser aufgelöst. Vor dem Vergolden wird $^1/_2$ Loth der Goldlösung in $^1/_2$ Loth der Natronlösung gegossen, 6 bis 8 Tropfen Ammoniak zugesetzt, und diese Quantität für ein Bild auf gewöhnliche Weise verbraucht.

Von der Photographie auf Papier. Das Spiegeln der Daguerreotype-Platten, besonders wenn das darauf gefertigte Bild schwach und matt gezeichnet war, hat es wünschenswerth gemacht, den schon früher erfundenen, und von Talbot bekannt gemachten Papiermethoden eine besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden, und es hat die Talbotypie oder, wie er es nennt, der Kallotypieproceß entschieden der Daguerreotypie den Rang abgelaufen; gerade so wie in neuester Zeit die Kollodiumbilder den Papierbildern den Rang abgelaufen haben. Nichts desto weniger bleiben die Papierbilder für jeden Photographen von besonderer Wichtigkeit, und ihr Studium wird gewiß immer den Ausgang bilden für denjenigen, der ein tüchtiger Photograph werden will. Es soll daher diese Methode ausführlich behandelt werden, um alle späteren Erfindungen und Verbesserungen daran knüpfen zu können.

Erzeugung negativer Bilder. Flüssigkeiten. I. Ein Loth Jodkalium wird in 20 Loth destillirten Wassers aufgelöst und diese Lösung mit 8 bis 10 Tropfen einer concentrirten Cyankaliumlösung versetzt.

II. Ein und ein Viertel Loth grauer Höllenstein (geschmolzenes salpetersaures Silberoxyd) werden in 20 Loth destillirten Wassers aufgelöst und mit $1^1/_2$ Loth sehr starker Essigsäure (Radicalessig) versetzt; nachdem die Auflösung und Mischung vollständig stattgefunden hat, wirft man in die Lösung 10 bis 15 Gran doppelt kohlensaures Kali oder doppelt kohlensaures Natron, die sich unter Aufbrausen ebenfalls auflösen, und wobei man die Flüssigkeit mit einem Glasstabe umzurühren hat. Hierauf läßt man sie über Nacht ruhig stehen, und filtrirt dieselbe des anderen Tages, um den gewöhnlich nicht unbedeutenden Bodensatz und Schaum zu entfernen.

III. Concentrirte Gallussäurelösung.

IV. Zwei Loth unterschwefligsaures Natron werden in 20 Loth destillirten Wassers aufgelöst.

V. Eine concentrirte Cyankaliumlösung, um Flüssigkeit I. damit versetzen zu können, und nach den Arbeiten die Schmutzflecken von den Händen zu entfernen.

Die Stoffe, welche man zur Bereitung wählt, müssen gut sein; ich wage nicht zu sagen, vollkommen rein, denn sie können allerdings Zusätze haben, welche nicht schädlich, ja vielleicht sogar günstig wirken; nur gewisse Erfahrungen sind bereits constatirt und müssen beachtet werden; so z. B. soll das Jodkalium diesen Namen verdienen. Der Höllenstein muß vollkommen säurefrei gemacht werden, daher ich grauen wähle, der gewöhnlich stärker erhitzt ist, weshalb auch die Säure

sicherer entfernt wurde als beim weißen, der vorsichtig geschmolzen wird; jedoch habe ich häufig auch ganz weißen Höllenstein im Handel gefunden, der vollkommen säurefrei war. Alle Auflösungen von Silbersalzen sollen an dunkeln Orten oder in dunkeln Flaschen aufbewahrt werden, obwohl man diese Vorsicht nicht zu weit treiben darf, indem auch, wenn man sie vernachlässigt, die Flüssigkeiten dennoch gute Bilder geben. Die von mir angegebene Verbesserung: unmittelbar in größerer Quantität der Silbersalzlösung doppelt kohlensaures Kali oder Natron zuzusetzen, fördert das Gelingen der Talbotypien in sehr hohem Grade. Es erhalten die negativen Bilder dadurch eine Gleichmäßigkeit der photographischen Schicht, Kraft und Nüancirung in den Halbschatten, welche ohne kohlensaures Alkali nicht leicht erreicht werden dürften. Es scheint dieser Erfolg auf Rechnung des sich bildenden essigsauren Silbers zu kommen, welches wundervoll modellirte Bilder giebt, nur leider im Wasser zu unlöslich ist, um für sich allein gebraucht werden zu können.

Der Anfänger, welcher etwa nach meiner Methode arbeitet, wird wohl die Flüssigkeiten so bereiten, wie ich sie angebe; allein auch den geübten Photographen mache ich auf den Zusatz des doppelt kohlensauren Kali aufmerksam, damit er dieses nicht etwa einzig und allein als eine Beimischung betrachte, welche die vielleicht vorhandene freie Salpetersäure binden soll. Ich habe vielen Grund zu glauben, daß in früherer Zeit manche gelungene Bilder auf Rechnung des kohlensauren Kali kamen, welches dem Jodkalium beigemischt war. In Ermangelung von doppelt kohlensaurem Kali kann man auch doppelt kohlensaure Soda oder selbst geschabte Kreide mit gleichem Erfolge nehmen. Es ist Bedingung zur Erzeugung guter negativer Bilder, sehr starke Essigsäure anzuwenden; sollte die dem Experimentator zu Gebote stehende nicht so stark riechen, daß man das Fläschchen wegen Stärke des Geruches augenblicklich entfernen muß, wenn man es unter die Nase hält, so wird es zweckmäßig sein, statt $1\frac{1}{2}$ Loth 2, ja 3 Lothe zu nehmen. Blanquart hat im Jahre 1850 bei seinen Photographien Fluorkalium anzuwenden empfohlen. Mir schien es schon damals sonderbar, daß Fluorsilber empfindlicher sein sollte als Jodsilber; ich glaube, die größere Empfindlichkeit des mit Fluorsilber bereiteten Papieres rührt von dem alkalischen Ueberschuß des nicht neutralen Fluorkaliums her. Viele Photographen haben meine Behauptung richtig gefunden, und eine neue Bestätigung derselben liefert die eigene Angabe Blanquart's, der in seinem Handbuche ausdrücklich sagt: das Fluorkalium müsse alkalinisch reagiren. Ich glaube daher, man dürfte dasselbe Resultat erhalten, wenn man das Fluorkalium gar nicht anwendet, und dafür in Jodkaliumlösung 2 bis 3 Tropfen einer concentrirten Aetzkalilösung (lapis causticus) giebt. Um die Empfindlichkeit noch mehr zu steigern, dürfte es nicht schlecht gerathen sein, anstatt das Aetzkali in die Jodkalilösung zu geben, ungefähr ein Seidel Wasser in eine Tasse zu schütten, und mit 8 bis 10 Tropfen einer concentrirten Aetzkalilösung zu versetzen. Man legt das Papier zuerst auf die Jodkalilösung, nach dem Abtrocknen mit Löschpapier läßt man es einen Augenblick auf der Aetzkalilösung schwimmen, und dann, nach erneuertem Abtrocknen, erst auf dem essigsalpetersauren Silberoxyd. Nur darf man das Papier nicht zu lange auf dem Aetzkali liegen lassen, weil es leicht zu viel davon einsaugt und dann statt einer leichteren photogenischen Zersetzung an den belichteten Stellen, eine allgemeine chemische Zersetzung eintritt, welche das Bild schmutzig und unklar macht. Ueberhaupt dürfte nur ein geübter Photograph

sich auf diese Versuche einlassen, weil sie die Sache nicht einfacher machen, und Gelegenheit zu neuem Mißlingen geben. — Aetzkali verdirbt sehr bald an der Luft, es wird kohlensauer, und muß daher in wohlverschlossenen Gläsern verwahrt werden. Um kräftige Bilder zu erzeugen, hat man auch vorgeschlagen, statt des Cyankaliums eisenblausaures Kali (15 Gran) zur Jodkaliumlösung hinzuzugeben. Ein Vorschlag, der nicht zu verwerfen ist, wie mir meine eigene Erfahrung es bestätigt hat. Ueberhaupt scheint man viel auf die Eisensalze zu halten, ohne daß gerade ihre Anwendung bis jetzt allgemein durchgedrungen wäre. So empfiehlt Groll der Jodkaliumlösung 5 Gran Eisenvitriol beizumischen, diese Flüssigkeit nach 8 Tagen zu filtriren und wie gewöhnlich zu gebrauchen.

Rücksichtlich der Gallussäure und des unterschwefligsauren Natrons ist nicht viel zu bemerken, da die im Handel vorkommenden Präparate meistens genügen; doch hat man statt der Gallussäure Tannin empfohlen, was durchaus zu verwerfen ist. Pyrogallussäure mit vieler Essigsäure zum Hervorrufen angewendet, giebt bei Kollodiumbildern ausgezeichnete Resultate und wäre auch bei Papierbildern zu versuchen. Die Cyankaliumlösung ist selten eisenfrei, was nicht schadet; nur um Flecken aus der Wäsche zu entfernen, dürfte sie im unreinen Zustande nicht verwendet werden, weil man sonst Flecken anderer Art (Eisenflecke) damit erzeugt. Auch ist es besser, das Cyankalium im festen Zustande aufzubewahren, weil es aufgelöst durch Zersetzung leicht braun wird. — Was die Verkaufsorte der Materialien anbelangt, so hat man Auswahl genug unter den bekannten Firmen in Paris, London, Berlin, Wien und Prag.

Mag der Photograph was immer für Flüssigkeiten oder Präparate anwenden, so vergesse er nicht — die Flüssigkeiten häufig zu filtriren, sie nie im Staube offen stehen zu lassen und beim Einfüllen in die Flaschen sich immer verschiedener Trichter zu bedienen, besonders jenen des unterschwefligsauren Natrons zu nichts anderem zu verwenden, außer man hat ihn vollkommen gereinigt. Verwechselung der Stöpsel soll ebenfalls vermieden werden, daher man auf die Korkstöpsel die Namen derjenigen Lösungen schreibt, zu denen sie gehören, und auch der Inhalt auf den Flaschen bezeichnet sein soll.

Apparate. Nebst der Camera obscura und den dazu gehörigen Rahmen, hat man noch zwei Spiegelgläser (Blanquart'sche Gläser) nöthig, welche beide zugleich in den Rahmen leicht hineinpassen; dieser Rahmen muß so tief im Falz construirt sein, daß auf die zwei hineingelegten Spiegelgläser rückwärts noch ein Brettchen gelegt werden kann, welches so wie der bekannte Schieber von vorne, den Rahmen gegen das eindringende Licht von rückwärts absperrt. Ferner 4 bis 6 flache viereckige Porzellantassen mit $^3/_4$ Zoll hohem Rande, welche rundherum ungefähr um $^3/_4$ Zoll weiter sein müssen als das Papier groß ist, worauf man die Bilder macht. Endlich eine Kupferplatte, die um 1 Zoll sowohl länger als breiter ist, als die zu erzeugenden Bilder; sie dient zum Durchsichtigmachen der Photographien mittelst Wachs; und eine Spirituslampe muß so eingerichtet sein, daß die Platte über ihr gleichmäßig erhitzt werden kann. In Bezug auf die Camera obscura ist noch zu bemerken, daß jeder Photograph genau wissen muß, ob bei seinem Apparate der chemische Brennpunkt mit dem optischen übereinstimme oder nicht, und wie groß im letzteren Falle die Differenz sich herausstellt. Was ferner die Apparate anbetrifft, so habe ich nur noch hinzuzufügen, daß ja kein Photograph es außer Acht lasse, sich um den chemischen Brennpunkt seines Appa-

rates zu bekümmern, was von Anfängern, da für sie die Bestimmung gerade nicht leicht ist, häufig vernachlässigt wird, in Folge dessen sie die etwa minder scharfen Bilder einer ganz anderen Ursache als eben der richtigen zuschreiben.

Papier. Feines, gleichförmiges Maschinenpapier muß zu negativen Bildern genommen werden; man legt ein Stückchen auf einige Minuten ins Wasser, nimmt es heraus und trocknet es ab, um dadurch leichter die glatte Seite (Filzseite) von der rauhen (Siebseite) zu unterscheiden und das Ganze darnach bezeichnen zu können, denn das Bild muß immer auf der glatten Seite gemacht werden. Ein geübtes Auge erkennt übrigens die glatte Seite auch ohne das Papier zu nässen.

Der Unterschied zwischen Sieb- und Filzseite ist so wesentlich, daß er niemals vernachlässigt werden darf, und es ist nur zu wundern, daß die Franzosen in der Beschreibung ihrer Methoden keine Rücksicht darauf nehmen. Was die beste Papiergattung anbelangt, die man für Photographien sich wählen soll, so muß diese Wahl wohl jeder Photograph selbst vornehmen, denn es wird noch kein Papier eigens für photographische Zwecke erzeugt, und das gewöhnliche Papier variirt sehr in seiner Qualität. Uebrigens lernt man sehr bald die schlechten Eigenschaften eines schlechten Papiers kennen, zu denen nebst schmutzigen Flecken und schwarzen Tupfen, die beim Hervorrufen erscheinen, vorzüglich die Unempfindlichkeit gehört, denn leider liefert mit denselben Stoffen, nach derselben Methode, die eine Sorte Papiers nach kurzer Expositionszeit kräftige Bilder, während die andere Sorte weit länger in der Camera bleiben muß, bis ein Bild erscheint, wodurch der Photograph, besonders im Winter, sehr in der Sicherheit seiner Arbeiten beeinträchtigt wird. Am besten haben sich noch die Papiere von Canson frères bewährt, so wie einige deutsche Sorten aus den Zollvereinsstaaten. Uebrigens soll jeder Photograph so lange Papier suchen, bis er ein brauchbares gefunden hat, worauf er sich einen tüchtigen Vorrath des am Verkaufslager vorhandenen mit nach Hause nehmen mag, ohne etwa eine neue Bestellung im Großen zu machen, denn die nächste Sendung aus derselben Fabrik kann bei gleicher äußerer Qualität möglicherweise gar nicht entsprechen.

Bereitung des negativen Papieres. Man gießt Flüssigkeit Nr. I. und II. jede für sich in zwei vom Staube vollkommen gereinigte, ziemlich horizontal gestellte Porzellantassen. Die Tassen sollen, besonders in den Ecken, gereinigt und vollkommen staubfrei sein, daher sie kurz vor dem Gebrauche nicht blos ausgewischt, sondern mit etwas destillirtem Wasser ausgewaschen werden müssen, sonst erhält das Bild eine durch den Staub ganz marmorirte Oberfläche, die sehr störend ist, und sich ebenfalls bildet, wenn das photographische Papier im Staube lag und vor dem Gebrauche nicht abgewischt wurde, ja selbst wenn das Löschpapier staubig ist, entsteht der Marmor, oder auch, wenn man die Fläschen mit den Lösungen offen stehen läßt und sie vor dem Gebrauche nicht filtrirt. Dieser Marmor macht Anfängern, die sich ihn nicht zu erklären wissen, viel zu schaffen.

Man nimmt ein Blatt Papier, welches um eine Linie ringsum kleiner geschnitten ist, als das erwähnte Blanquart'sche Glas, faßt es bei zwei diagonal entgegengesetzten Ecken, die glatte Seite nach abwärts, und hält es so, daß es sich durch seine eigene Schwere in der Mitte senkt, legt es dann langsam auf die Oberfläche der Flüssigkeit I., indem man die beiden Ecken ebenfalls senkt und endlich

gänzlich aus den Fingern läßt. Nun schwimmt das Blatt flach auf der Flüssigkeit, wobei man vorzüglich darauf Acht haben muß, es durch manuelle Fertigkeit dahin zu bringen, daß keine Luftblasen zwischen dem Papier und der Flüssigkeit haften bleiben. Nachdem man es ungefähr so eine Minute liegen gelassen, lüftet man eine Ecke mit einem reinen Hölzchen (einem umgekehrten Zündhölzchen), hebt das Papier von der Flüssigkeit an dieser Ecke ab, läßt es kurze Zeit abtropfen, faßt es an einer zweiten Ecke und legt es mit der trockenen Seite auf ein Blatt Schreibpapier, worauf die nasse Seite mit Löschpapier abgetrocknet wird, indem man dieses darauf legt und mit der flachen Hand darüber streicht, damit alle überflüssige Jodkaliumlösung davon aufgesaugt werde. Ein zweites reines Löschpapier vollendet das Abtrocknen.

Was die Zeit des Schwimmenlassens anbelangt, so ist eine Minute angegeben als beiläufiger Maßstab. Die wirklich durch die Erfahrung zu bestimmende Zeit hängt von der Einsaugfähigkeit des Papieres ab, und zwar je weniger schnell das Papier einsaugt, desto länger kann man es schwimmen lassen. Ich glaube, daß es für manche Papiersorte zweckmäßig wäre, wenn man die Jodkaliumlösung nur halb so stark, oder noch schwächer machen würde, und wenn man dann das Papier, ganz eingetaucht, sich vollsaugen ließe und im übrigen auf die gewöhnliche Weise behandelte. Wenn das Papier über der Jodkaliumlösung gleichmäßig blau wird, so ist dies nicht nur nicht schädlich, sondern eher ein Zeichen eines guten Papieres, denn die blaue Farbe verschwindet auf der essiggesäuerten Silbersalzlösung gänzlich, und das Papier ist gewöhnlich sehr empfindlich. Das Blauwerden findet nur statt, wenn in der Jodkaliumlösung freies Jod vorhanden ist, was sich dann leicht bildet, wenn man auf irgend eine Weise Jodsilber in die Jodkaliumlösung gebracht hat, das unaufgelöst bleibt und sich dann zersetzt, wo eben das freiwerdende Jod mit dem Amilon (Stärke) des Papierleims sich verbindet und dasselbe blau färbt. Ob aber beim Maschinenpapier der Stärkekleister allein die höhere Empfindlichkeit bedingt, ist eine Frage, die ich nicht zu erörtern wage, denn es scheint mir eher als ob die ganze Bereitungsart des vegetabilischen Leimes bei der Maschinenpapier-Fabrikation darauf Einfluß nähme.

Beim Schwimmenlassen muß man besonders Acht haben, daß zwischen dem Papier und der Flüssigkeit sich keine Luftblasen ansetzen, was Flecke ohne Zeichnung, also weiße Stellen im negativen Bilde verursachen würde. Legt man das Papier nach der vorgeschriebenen Weise auf, so bilden sich beim Maschinenpapier glücklicherweise derlei Luftblasen nicht leicht. Nicht so, wenn man englisch geschöpftes Papier schwimmen läßt. Das Papier soll beim Schwimmenlassen rückwärts nicht naß werden. Die anfangs sich aufrollenden Ränder müssen schwach niedergedrückt werden, wonach das Papier bald flach auf dem Wasser liegt. Die Tassen und das Papier, auf welchem man die zu bereitenden Blätter abtrocknet &c., müssen handsam auf dem Experimentirtisch angeordnet sein; so darf man z. B. nicht so manipuliren, daß man das von der Jodkaliumlösung triefende Papier über die Silbersalzschale hebt, und in diese Tropfen hineinfallen läßt, wornach alsogleich sich Jodsilber bildet, welches auf der Oberfläche schwimmend, dieselbe verunreinigt. Das Abtrocknen muß sehr sorgfältig geschehen, denn bleibt eine Stelle mehr naß als eine andere, was sich am leichtesten an dem Rande ereignet, an welchem durch das Abtropfenlassen mehr Flüssigkeit sich sammelt, so wird das Bild dort fleckig, fast getigert. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man

ein schlecht abgetrocknetes Papier schief gegen das Licht ansieht, wo die nassen Stellen glänzen, die dann gerade so angeordnet erscheinen, wie die später entstehenden Flecken.

Man läßt die mit Jodkalium imprägnirte Stelle des Papiers auf Flüssigkeit Nr. II. höchstens 5 bis 10 Secunden schwimmen, hebt dasselbe bei einer Ecke ab, faßt es mit der anderen Hand von rückwärts bei der diagonal entgegengesetzten Ecke, und legt es noch ganz naß, mit der nassen Seite auf das eine, mit destillirtem Wasser gut abgewaschene und abgetrocknete Spiegelglas (Blanquart'sche Glas) gerade so, als wäre dieses eine Flüssigkeit und man wollte das Papier darauf schwimmen lassen. Durch Adhäsion haftet das Papier ganz flach an dem Glase, und das richtige Auflegen gelingt nach einiger Uebung vollkommen, ohne daß man an dem Papiere zerren und rücken darf, wobei es leicht zerreißt. Liegt es nicht richtig, so hebt man es lieber nochmals ab und versucht es neuerdings aufzulegen.

Das Schwimmenlassen auf der Silbersalzlösung ist bezüglich der Zeit ziemlich schnell auszuführen; mir kommt vor, besonders wenn man kein kohlensaures Kali anwendet, als ob die Bilder bedeutend mehr monoton würden und fast gar keine Kraft erlangten, wenn man das Papier zu lange auf der Silberlösung liegen läßt. Da die chemische Action augenblicklich stattfindet, so genügen 4 bis 10 Secunden vollkommen, besonders wenn das Papier nicht zu lange auf dem Jodkalium lag. Luftblasen müssen natürlich ebenfalls vermieden werden. Das Blanquart'sche Glas muß immer vollkommen rein gehalten sein, so zwar, daß man dasselbe gleich, nachdem man das Bild davon aufgehoben und auf Gallussäure gelegt hat, mittelst Löschpapier und allenfalls etwas Wasser reinigt und abtrocknet, wenn man es nicht vorzieht es alsogleich in eine Tasse mit Wasser zu legen, abzuwaschen und mit einem reinen Leinentuche trocken zu machen.

Das Einlegen in die Kasette. Das Blanquart'sche Glas wird mit dem adhärirenden Papier in den Rahmen mit der freien Glasseite gegen den Schieber gelegt. Hierauf nimmt man das zweite Spiegelglas, welches an den 4 Ecken mit ziemlich flachen Siegellacktropfen versehen ist, und legt es ebenfalls in den Rahmen, so zwar, daß die 4 Siegellacktropfen desselben das photographische Papier an die erste Glasplatte andrücken, ohne daß die zweite Glasplatte das Papier weiter berührt. Sodann verschließt man mit dem Brettchen rückwärts den ganzen Rahmen, wobei man noch ein großes Quartblatt Löschpapier zwischen dasselbe und die zweite Glasplatte klemmen kann, um das Heraustropfen der Flüssigkeit zu verhüten und somit reinlicher arbeiten zu können.

Die hier angegebene Methode das photographische Papier in die Kasette zu legen, wende ich jetzt immerwährend an; früher legte ich das Talbotyppapier auf das erste Glas, dann ein großes Blatt Löschpapier darauf, dann das zweite Glas, und zuletzt das sehr locker einfallende Brettchen, welche Methode für das Herausnehmen nach der Exposition sehr bequem war; man hob mit dem vorstehenden Löschpapiere alles auf einmal ab und gelangte schnell zum photographischen Papier. In späterer Zeit hatte ich eine neue, in ihren Theilen vollkommen passende Camera, welche mir das Löschpapier so festklemmte, daß es Falten gab, und alle Falten waren durch ungleiche Aufsaugung der Feuchtigkeit des unterhalb liegenden photographischen Papiers auf letzterem vollkommen abgebildet, welcher Uebelstand sich öfter ereignete, daher ich die genannte Abänderung vorschlug. Man kann auch das

zweite Glas wohl gereinigt unmittelbar auf das jodirte Papier legen, allein dann haften beide Gläser sehr stark an einander und lassen sich sehr schwer trennen, daher man auch empfohlen, ein dickes, gleich großes Papier, wie es die Lithographen brauchen, gefeuchtet zwischen das zweite Glas und das Talbotypapier zu legen, oder auch nur rechts und links zwei Streifen desselben, wodurch, wie bei den Siegellacktropfen, das zweite Glas hohl liegt. Will man nicht mit dem Blanquart'schen Glase, sondern wegen Mangel an Licht mit freier photographischer Fläche arbeiten, so muß man eine reine Glasplatte, oder noch besser eine Schiefertafel mit Wasser befeuchten und das bejodete Papier mit der weißen Rückseite darauf legen, wobei man Sorge zu tragen hat, daß es keine Blasen macht. Ich pflege höchst selten so zu arbeiten, denn es ist weit schwieriger, reine Bilder zu erhalten. Herr Skopall empfiehlt, und wie es scheint nicht mit Unrecht, das Papier nicht mit ganz nasser Oberfläche zu exponiren, sondern nach dem Silberbade dasselbe mit Löschpapier abzutrocknen, und nur feucht in die Kasette zu legen; besonders dürfte nach seinem Ausspruche dies jenen willkommen sein, die ihre Bilder kräftig nüancirt und in kürzester Zeit erzeugen wollen.

Exposition in der Camera. Die Zeitdauer derselben hängt natürlich von der Beleuchtung, der Lichtstärke des Apparates und der Empfindlichkeit des gewählten Papieres ab. Bei Voigtländer's Apparat Nr. 4 braucht man für ein Portrait im Zimmer bei schöner Beleuchtung im Durchschnitt 25 bis 45 Secunden; zur Aufnahme eines von der Sonne beschienenen Gebäudes mit der vorderen, eigens dazu vorgerichteten Linse desselben Apparates 30 Secunden.

Die Exposition in der Camera darf nicht zu kurz, nicht zu lang sein; im ersten Falle bleiben Halbtöne aus und man bekommt im Bilde nur Licht und Schatten, im zweiten Falle wird das Bild monoton.

Das Hervorrufen des Bildes. Man gießt ungefähr einen starken Eßlöffel voll von der Flüssigkeit Nr. III. (Gallussäure) in die dritte wohlgereinigte Porzellantasse, nimmt das belichtete Papier aus dem Rahmen, was am leichtesten so geschieht, daß man die messingenen Verreiber zurückzieht, den nach unten horizontal liegenden Schieber ein wenig öffnet und mit einem Druck des Fingers von unten die beiden Spiegelplatten sammt dem Brettchen nach oben aus dem Rahmen etwas herausdrückt, wornach man sie mit der anderen Hand leicht ganz herausheben, das Brett weglegen und die beiden Glasplatten trennen kann. Nun wird das Papier wieder bei zwei diagonal entgegengesetzten Ecken angefaßt, vom Glase gehoben und so über die Gallussäure in der Porzellantasse gelegt, als wollte man es schwimmen lassen, und zwar mit der präparirten und bereits belichteten Seite nach abwärts. Das Papier ist noch naß, und die Gallussäure benetzt bei einiger Vorsicht alsogleich das ganze Bild, was wichtig ist, weil sonst leicht Flecken entstehen, was man wohl auch dadurch verhindern kann, daß man das Bild ein- bis zweimal, gleich nach dem Darauflegen, wieder lüftet oder die Tasse hin- und herneigt, damit die Gallussäure sich schnell über die Bildfläche verbreitet. Hier läßt man das Bild 25 Minuten, und oft noch bedeutend länger, kurz, so lange liegen, bis es in allen Theilen überkräftig ist, was man durch öfteres Ansehen ermittelt. Man muß während des Hervorrufens Sorge tragen, daß das Bild auf der Rückseite von der Gallussäure wo möglich nicht benetzt wird.

Beim Hervorrufen des Bildes soll man es sich zum Grundsatz machen, kein neues Bild anzufangen, bis man nicht das eine vollendet. Will das Bild, das

man natürlich im dunkeln Zimmer öfters anzusehen pflegt, nicht recht kräftig werden, so nützt oft das Hinzugießen einer kleinen Quantität Silberlösung, wobei man aber ein schnelleres Zersetzen des gebildeten Silbergallonitrates und in Folge dessen ein in den Schattenpartien fleckiges Bild risquirt. Wird die Gallussäure zu schwarz, so kann man sie weggießen und durch neue ersetzen, wo man aber nicht unterlassen darf, etwas Silbersalzlösung beizufügen. Jedoch sind dies Handgriffe, an welche ein geübter Photograph von selbst denkt, und die einem Anfänger nicht viel nützen, wenn die früheren Manipulationen nicht gut durchgeführt waren. Hat man sich die Finger mit Silbergallotrinat beschmutzt, so muß man sich die Hände waschen, bevor man ein zweites Bild zu machen beginnt.

Fixation. Ist das Bild vollkommen kräftig, d. h. in den Lichtpartien sehr schwarz, in den Schattenpartien sehr hell, ohne daß die Zwischentöne fehlen, so kann man das Bild vom chemischen Standpunkt aus gelungen nennen und zur Fixation schreiten. Man legt das Bild in eine andere Tasse mit der belichteten Seite nach aufwärts und wäscht es gut mit destillirtem Wasser ab, welches man ein bis zweimal wechselt. Nachdem dieses weggegossen, überschüttet man das Bild mit der unterschwefligsauren Natronlösung (Flüssigkeit IV.), in welcher man es so lange liegen läßt, bis das Jodsilber vollkommen aufgelöst ist, d. h. das Bild in seinen ungeschwärzten Stellen statt gelb, weiß erscheint, was ungefähr schon nach 5 bis 15 Minuten statt hat, worauf man es aus der Natronlösung herausnimmt, allenfalls ganz leicht zwischen zwei Blättern Löschpapier übertrocknet, und in einer reinen Tasse tüchtig mit mehrmals gewechseltem Wasser auswäscht, um alles unterschwefligsaure Natron zu entfernen, nach welcher Operation man das Bild aus dem Wasser heraushebt, zwischen Löschpapier abtrocknet und auf ein flaches Blatt Papier gelegt, vollständig austrocknen läßt.

Diese hier angegebene Fixation ist die kalte Fixation, will man aber besonders schöne Bilder erzeugen, so dürfte es weit vorzuziehen sein, die Natronlösung siedend heiß über das fertige und etwas mit destillirtem Wasser ausgewaschene negative Bild zu gießen, wodurch es reiner und für das Durchsichtigmachen weit tauglicher wird, da das heiße unterschwefligsaure Natron den vegetabilischen Leim auflöst, wodurch das Papier gewissermaßen zum Löschpapier wird und das Wachs leichter aufnimmt. Bei gewissen Papiersorten habe ich es zweckmäßig gefunden, das negative Bild vor dem Fixiren mit Weingeist zu übergießen, welchen man in einer Ecke der Tasse ablaufen läßt, und worauf man das Bild entweder gleich oder nach vorhergegangenem Waschen mit destillirtem Wasser in das heiße Natronbad bringt; nur muß man beim Aufgießen Luftblasen nicht entstehen lassen, die dann gewöhnlich Flecken erzeugen. Die Natronlösung kann, ungeachtet sie braun wird, dennoch sehr oft gebraucht werden, nur muß man sie filtriren und allenfalls mit einigen Kristallen von unterschwefligsaurem Natron auffrischen. Statt mit kaltem oder heißem unterschwefligsauren Natron zu fixiren, hat man auch vorgeschlagen Cyankalium anzuwenden — ein Fixationsmittel, welches ebenfalls alle Beachtung verdient, ohne daß es gerade das unterschwefligsaure Natron verdrängen wird; jedoch darf es nicht von Laien angewendet werden, weil es sehr energisch wirkt und daher zu leicht das negative Bild auch in den vom Lichte afficirten Stellen angreift. Man giebt ungefähr 4 bis 6 Loth Wasser in eine Tasse, in welche man 20 bis 25 Tropfen einer concentrirten Cyankaliumlösung gegeben hat; nachdem die Mischung vollkommen geschehen, legt man das früher wohl im destillirten Wasser

ausgewaschene Bild in dieselbe und bewegt es hin und her, wornach man es alsobald heraushebt und gegen das Licht ansieht, um zu bemerken, ob es nicht an Kraft verloren. Wie man merkt, daß es in den lichten Schattenpartien vollkommen klar geworden, so hebt man es schnell aus dem Cyankaliumbade und legt es in Wasser, worin man es tüchtig auswäscht. Uebrigens darf man nur sehr kräftige negative Bilder mit Cyankalium zu fixiren wagen. Was das Cyankalium leistet, leistet auch das Blutlaugensalz, jedoch auf etwas weniger energische Weise.

Alle bisher beschriebenen Operationen mit Ausnahme jener von der Exposition in der Camera müssen in einem dunkelen Zimmer entweder bei Kerzenlicht, oder doch bei so gedämpftem Tageslichte, daß man nur eben noch sieht, gemacht werden. Rothe Vorhänge, gelbe Fenstergläser leisten hier gute Dienste.

Anfänger sind in Bezug auf die Verfinsterung des Zimmers gewöhnlich zu ängstlich oder zu gleichgültig; sie verschließen entweder alle Fugen oder laufen mit dem eben im Hervorrufen begriffenen Bilde zum Fenster, um zu sehen, wie weit es gediehen ist. Hier, wie überall im Leben, sollen die Extreme vermieden, und die goldene Mittelstraße eingeschlagen werden.

Decken des Hintergrundes. Hat man bei Portraiten hinter der Person nicht einen hellweißen Hintergrund, oder ist er auf dem negativen Bilde nicht vollkommen schwarz, so zeichnet man die Contouren des Portraits durch das Fenster noch vor dem Durchsichtigmachen sehr genau ab, und deckt alles außerhalb der Contouren, also alles, was auf dem positiven Bilde weiß bleiben soll, mit stark angeriebener schwarzer Farbe (noir des bougies), worauf man nach dem Trockenwerden erst die Operation des Durchsichtigmachens vornimmt.

Durchsichtigmachen des Bildes. Man schmilzt 3 Theile weißes Wachs und 2 Theile Hirschunschlitt oder gereinigtes Unschlitt in einer Abdampfschale zusammen, und gießt diese Masse in einen hohlen Papiercylinder, den man am unteren Ende über einen Korkstöpsel festgebunden hat; man erhält nach dem Erstarren ein Stück Kerze ohne Docht, womit man bei der nachfolgenden Methode zu wachsen für viele Bilder ausreicht.

Eine Kupferplatte wird über der Spirituslampe so lange erhitzt, bis fein darauf gespritztes Wasser in brausenden Perlen abläuft; nun hebt man die Platte mittelst einer kleinen Zange oder eines Tuchlappens von der Flamme ab, legt sie auf den Tisch und das negative Bild auf dieselbe; während man dieses mit der linken Hand mittelst eines Korkstöpsels niederhält, fährt man mit dem Wachse über die ganze Fläche des Bildes, welches alsogleich reichlich mit Wachs durchzogen erscheint. Das überflüssige Wachs wird mit einem Leinwandlappen, noch während das Bild auf der Platte liegt, weggewischt, das Bild erst nach dem vollkommenen Erstarren des Wachses und dem Erkalten der Platte aufgehoben, die Platte ebenfalls abgewischt.

Wenn es nöthig sein sollte, wird die Operation auch auf der zweiten Seite des Bildes wiederholt. Es kann geschehen, daß das Kupfer vom Wachs in so weit angegriffen wird, daß es schmutzt; in diesem Falle hilft man sich leicht, indem man zwischen die etwas heißer gemachte Kupferplatte und das Bild ein dünnes leeres Papier legt, und im übrigen auf gleiche Weise verfährt. Vielleicht würde eine plattirte oder galvanisch-versilberte Kupferplatte oder eine Packfongplatte noch bessere Dienste leisten.

Das Wachs zu schmelzen, es mittelst eines Pinsels auf das negative Bild

aufzutragen und dieses letztere nach dem Erstarren des Wachses neuerdings zwischen zwei Blättern Löschpapier zu bügeln, war die alte Methode zu wachsen, wo es häufig geschah, daß man in Folge eines zu kalten Eisens eine ungleiche Wachsschichte auf dem Bilde zurückließ, oder wenn das Eisen zu heiß war, wurde alles Wachs aus dem Bilde wieder herausgezogen, wodurch dieses im durchgelassenen Lichte rauh erschien, und also auch rauhe positive Bilder lieferte — Uebelstände, die bei der vorher angegebenen Methode zu wachsen nicht mehr vorkommen.

Um Kupferstiche behufs der photographischen Copirung durchsichtig zu machen, dient folgender Firniß:

3	Gran (oder Theile)	Bleizucker,
500	„ „ „	bestrectificirten Terpentingeistes,
200	„ „ „	Canada-Balsam d. i. Pech alba.

Terpentingeist und Bleizucker sollen 24 Stunden vermischt stehen, und mit dem gestoßenen Pech alba gemengt über einer schwachen Hitze unter immerwährendem Umrühren mit einem Holzspan aufgelöst werden. In solcher Beschaffenheit wird diese Mixtur mit einem feinen breiten Pinsel aufgetragen. Das Papier (Bild) muß 2 bis 3 Tage an der Luft zum Trocknen aufgehängt werden. Durch eine Lauge von Pottasche kann diese Mixtur wieder aus dem Bilde weggebracht werden; man muß dann den Kupferstich durch Bewegen der Tasse hin- und herschwenken; mehrmaliges Waschen in reinem Wasser entfernt zum Beschluß jeden Rückstand. Vielleicht, daß dieser Firniß auch beim Durchsichtigmachen der negativen Bilder gebraucht werden könnte. Er ist von einem Engländer empfohlen worden, ich für meine Person bin aber für das Durchsichtigmachen mit Firniß nicht eingenommen.

Erzeugung positiver Bilder. Flüssigkeiten. VI. 168 Gran (ungefähr $^2/_3$ Loth) Kochsalz werden in 20 Loth destillirten Wassers aufgelöst.

VII. 2 Loth krystallisirtes salpetersaures Silberoxyd werden in 20 Loth destillirten Wassers aufgelöst.

VIII. 2 Loth unterschwefligsaures Natron werden in 20 Loth destillirten Wassers aufgelöst und mit einer Lösung von 30 bis 40 Gran salpetersauren Silberoxyds in 1 Loth Wasser versetzt. Man gießt die Silbersalzlösung in einem dünnen Strome, unter immerwährendem Umrühren der Natronlösung, in diese letztere, wodurch, besonders wenn das Silbersalz etwas säurehaltig ist, die Bilder nach dem Natronbade einen dunkleren Ton annehmen. Noch besser wird diese Fixationsflüssigkeit, wenn man 4 Gran Goldchlorid in 1 Loth Wasser auflöst und diese Lösung ebenfalls unter Umrühren der Gesammtflüssigkeit zusetzt.

Während man zu negativen Bildern säurefreien Höllenstein nimmt, scheint für positive Bilder krystallisirtes salpetersaures Silberoxyd gewählt werden zu müssen, was gewöhnlich noch etwas Säure enthält; es scheinen nämlich die damit erzeugten Bilder mehr dunkelbraun zu werden und im Natronbade leichter den Ton, selbst bis zum Schwarz zu ändern, — eine Erfahrung, auf die, so weit mir bekannt, zuerst Wagemann aufmerksam gemacht hat. Das unterschwefligsaure Natron, welches man für positive Bilder benutzt, darf niemals für negative Bilder gebraucht werden, außer man bestimmt es dann ausschließend zu diesem Gebrauche, denn ein mit Gallussäure in Berührung gewesenes unterschwefligsaures Natron macht bei positiven Bildern das Papier im Grunde gelblich, was manchmal für Veduten nicht übel aussieht, bei Portraits aber nicht anspricht. Man könnte die

Silbersalzlösung und im stöchiometrischen Verhältnisse auch die Kochsalzlösung stärker, ja doppelt so stark nehmen, wodurch entschieden der Ton der Bilder reicher wird; allein die Kosten, und das doch beim Abtrocknen vergeudete Silber setzen die bereits beim „Durchsichtigmachen der Bilder" gegebene Grenze, da man mit Lösungen von der dort bezeichneten Concentration recht schöne Bilder erzeugen kann. — Die Flüssigkeiten für positive Bilder wurden mit fortlaufenden Nummern VI. VII. VIII. bezeichnet, um bei Beziehungen keine Verwechslung mit den negativen Flüssigkeiten zu veranlassen. Die größte Reinlichkeit, besonders in Beziehung des Staubes, ist hier, wie überall, zu empfehlen.

Apparate. Vier Porzellantassen, ein Copirrahmen, d. i. zwei in einen Rahmen einzulegende starke Spiegelgläser, welche eben in diesen Rahmen auf irgend eine Weise aneinander gepreßt werden können. Gewöhnlich befindet sich bei jedem Apparate ein solcher Copirrahmen.

Papier. Für positive Bilder ist die Wahl des Papieres nicht so schwierig; jedes weiße glatte Papier genügt, allein es bleibt nicht zu leugnen, daß verschiedene Papiersorten auf den Ton der Bilder Einfluß nehmen. Glattes dichtes Maschinenpapier ist am meisten zu empfehlen, obwohl es Fälle giebt, wo man englisches Turkey mill vorzuziehen pflegt. Auch hier muß das Bild auf die glatte Seite gemacht und das Papier etwas größer geschnitten werden, als das negative Bild. Gutes Maschinenpapier giebt den Bildern leicht einen nicht unangenehmen, bei den Malern sehr beliebten Ton.

Bereitung des positiven Papieres.

a) Schwimmenlassen auf der in einer Porzellantasse befindlichen Flüssigkeit Nr. VI. (Kochsalzlösung) durch ungefähr $1^1/_2$ Minute.
b) Abtrocknen mit Löschpapier.
c) Schwimmenlassen auf der in einer zweiten Porzellantasse befindlichen Flüssigkeit Nr. VII. (Silbersalzlösung) durch 2 Minuten.
d) Abtrocknen mit Löschpapier.
e) Die Operationen Nr. a — e werden, wenn man besonders schöne kräftige Bilder erzeugen will, noch einmal in derselben Ordnung wiederholt.
f) Das Papier wird sorgfältig abgetrocknet, indem man ein neues Löschpapier darauf legt, welches man durch häufiges Streichen fest an das feuchte Papier andrückt, um ja keine Nässe auf dem Papiere zu lassen.

Hier habe ich vorzüglich zu bemerken, daß besonders beim englischen Papiere sich beim Schwimmenlassen sehr gerne Luftblasen ansetzen, die so hartnäckig haften, daß, wenn man sie mit einem reinen Hölzchen, oder mit dem Fingernagel zum Platzen bringt, sie für den Augenblick zwar verschwinden, beim erneuerten Auflegen des Papieres aber sich an derselben Stelle zu wiederholten Malen bilden. Zum Glück hat die Zeit des Schwimmenlassens keinen so bedeutenden Einfluß als wie bei den negativen Bildern, und es schadet also nicht, wenn man etwas länger an dem Papiere herum manipuliren muß, bis es endlich gleichmäßig naß geworden. Daß man beim Abtrocknen das Löschpapier immer wechseln muß, versteht sich von selbst; denn wenn das Copirpapier nicht sehr abgetrocknet ist, überträgt es Chlorsilber auf das negative Bild und erzeugt dort Flecken, welche spätere Abdrücke verderben. Das Papier ganz ausgetrocknet zu gebrauchen, wäre daher vorzuziehen, wenn nicht das etwas feuchte Papier wirklich empfindlicher wäre, wodurch die Zeit

der Exposition im Copirrahmen verkürzt und das Bild überhaupt schöner wird. Um das besprochene Flecken der negativen Bilder zu verhindern, könnte man wohl Strohpapier zwischen das photographische Papier und das negative Original legen, ja sogar dünnes Schreibpapier hat man dazu empfohlen, wodurch die Zeichnung zwar weich, aber auch minder scharf wird, was nur in seltenen Fällen wünschenswerth erscheinen kann.

Copirrahmen. Ein zur Ausübung der Talbotypie unentbehrlicher Apparat ist der Copirrahmen, der in seiner einfachsten Gestalt aus zwei Glasplatten besteht, die auf irgend eine Weise aneinander gepreßt werden; man hat dieses Zusammenpressen durch Holzrahmen bewirkt, welche mittelst Schrauben aneinander gedrückt wurden; allein dadurch kam man leicht in die Gefahr, die Gläser zu brechen, daher später die Einrichtung abgeändert wurde. Der nach meiner Angabe gemachte Copirrahmen besteht aus einer Vorrichtung, welche so eingerichtet ist, wie die Zeichenbretter, welche das Papier aufgespannt erhalten, ohne daß man es mit Gummi und dergleichen anklebt. Er besteht nämlich aus einem dicken Rahmen, in welchen die beiden Gläser, mit dem in gehöriger Ordnung folgenden Bild und Copirpapier, von rückwärts so hineingelegt werden, daß das negative Bild sich voraus befindet. Das rückwärtige Glas ist von dem Copirpapier durch einen gleich großen, faltenlosen Fleck von schwarzem Manchester getrennt, so zwar, daß die rauhe Seite an das Papier zu liegen kommt, wornach durch die Elasticität der aufgerauhten Fäden das Copirpapier in allen Theilen fest an das negative Bild gedrückt wird; auf die Gläser legt man ein Brett, welches durch zwei in schiefer Nuth verschiebbare Leisten festgehalten werden kann. Diese Nuth ist nämlich in den Rahmen selbst eingeschnitten und nähert sich von der Mitte gegen die beiden Seiten hin immer mehr den Gläsern, und je weiter man die Leisten nach rechts und links in dieser Nuth verschiebt, desto mehr pressen sie die Gläser aneinander; durch untergelegtes, mit dem Brette gleich großes Papier kann man den Druck beliebig steigern, was doch nur so weit nothwendig ist, daß das negative Bild und Copirpapier flach aneinander liegen.

Dieser Rahmen hat noch die Bequemlichkeit, daß man ihn leicht am Fenster schief aufstellen kann, was besonders beim Copiren mit zerstrentem Tageslicht nothwendig ist; man braucht blos ein Buch vertical unter die Leisten zu stellen, wodurch der ganze Rahmen wie ein Pult schief zu stehen kommt. Ein Photograph, der nicht als Dilettant arbeitet, muß wohl zwei bis drei solcher Copirrahmen besitzen. Zu irgend einem Versuch hatte ich mir einstens einen Copirrahmen ausgeliehen, der ein Spiegelglas hatte, welches einen Zoll dick war und mehrere Pfunde wog; ich muß gestehen, durch diesen Rahmen erhielt ich so scharfe positive Copien, wie auf keine andere Weise, da das große Gewicht der Platte alle Falten vollkommen niedergepreßt und ausgeglichen hatte, besser als dieses durch Pressung geschehen kann. Für Copien von Kupferstichen, wenn diese in einem Atelier häufig erzeugt werden sollten, wäre ein solcher Copirrahmen fast unentbehrlich.

Wenn man einen Copirrahmen von der eben besprochenen oder ihr ähnlichen Form besitzt, so kann man folgende zweckmäßige Aenderung anbringen: es wird zuerst die Glasplatte eingelegt, dann das negative Bild, dann das positive Papier, dann ein mit Manchester belegtes Brett, welches jedoch nach der kleineren Breite durchsägt ist, wo dann die zwei Theile in Charnieren beweglich sind, so daß die eine Hälfte sich nach rückwärts aufklappt. Hat man das Brett mit den zwei Leisten

niedergepreßt und exponirt, und will man nachsehen, ob die Copie gehörige Kraft hat, so nimmt man eine Leiste weg, schlägt die eine Hälfte des Brettes weg und lüftet das Bild etwas; die andere Hälfte bleibt durch die andere Leiste festgehalten und hindert die Verschiebung des Bildes. Diese Einrichtung erlaubt, besonders bei blassen negativen Bildern, ein weit sichereres Abklatschen, als wenn man die richtige Expositionszeit blos aus der Uebung treffen muß.

Das Einlegen in den Copirrahmen. Man legt das rückwärtige Brettchen des Copirrahmens auf den Tisch, auf dasselbe die eine Glasplatte, auf diese einen gleich großen Fleck von schwarzem Manchester mit der Wollseite nach oben, auf denselben das Copirpapier mit der präparirten Seite nach aufwärts, auf dieses das negative Bild mit der Bildseite nach abwärts, und endlich die wohlgereinigte Glasplatte als Schlußstein auf das Ganze. Man bringt nun die so angeordneten Gläser ꝛc. in den Copirrahmen, das Glas nach vorne, das Brettchen nach hinten, preßt alles mittelst der an ihm angebrachten Vorrichtung (Schrauben, Keile und dergleichen) aneinander und setzt denselben entweder in die helle Sonne, oder an das zerstreute Tageslicht, jedoch so, daß das nach oben liegende negative Bild und also auch das darunter befindliche Copirpapier frei vom Lichte bestrahlt werden kann.

Exposition im Lichte. Diese dauert nach Maßgabe der Kraft des negativen Bildes im Sonnenlichte 7 bis 12 Minuten, im zerstreuten Tageslichte $^3/_4$ Stunden, wohl auch noch bedeutend länger. Da das Copirpapier größer geschnitten ist als das negative Bild, so giebt die Färbung des vorstehenden Randes, der fast schwarz werden muß, einen Anhaltspunkt; allein die eigentlich richtige Zeit muß man durch Erfahrung kennen lernen, oder durch Nachsehen ermitteln. Je kräftiger das negative Bild ist, desto länger kann die Exposition dauern, desto kräftiger werden auch die positiven Copien. Je blässer und monotoner das negative Bild ist, desto kürzer müssen die Bilder exponirt werden. Bei Portraiten kommt öfter der Fall vor, daß man der Kleidung halber das Bild recht lange im Sonnenlichte lassen könnte, das Gesicht aber ist im negativen Bilde zu wenig modulirt und wird nach zu langer Exposition, in seiner Copie, zu einem Negerbilde oder zu einem Portraite einer amerikanischen Rothhaut. In einem solchen Falle kann man sich helfen, wenn man nach jenem Zeitpunkte, nach welchem die Zeichnung des Gesichts gerade die rechte Kraft haben dürfte, dieses durch ein zweckmäßig zugeschnittenes Papier deckt, und zwar von außen auf dem Glase des Copirrahmens, wornach man das Licht ungehindert auf die Kleider so lange fortwirken lassen kann, als man dieses für nöthig findet. — Da das deckende Papier, das am besten bis zum Halse herabreicht, durch die dicke Spiegelplatte vom Bilde getrennt ist, so wird man selten die Abgrenzung bemerken, die noch weniger sichtbar ausfallen wird, wenn man das deckende Papier, während das Licht auf die Kleider scheint, in zitternder Bewegung auf einem kleinen Spielraum hin- und herbewegt, oder wenn man den Copirrahmen in einem mehr spitzen Winkel gegen die Sonne hält, so daß diese in schiefer Richtung etwas unter das deckende Papier hinein scheinen kann; im zerstreuten Tageslicht bemerkt man die Abgrenzung noch weniger. Statt des schwarzen Deckpapieres kann man auch nach Friedrich ein rothes oder anderes gefärbtes, die chemischen Strahlen nicht vollkommen durchlassendes Glas über das Gesicht legen, um die heftige Wirkung etwas zu mildern. Läßt man ein sehr kräftiges Bild sehr lange Zeit exponirt, so wird der vorstehende

Rand des Copirpapieres dunkel olivengrün, fast metallisch glänzend, das Bild selbst schön blauschwarz, wobei man oft nur zu bedauern hat, daß dieser Ton in allen Fixationsmitteln sich ändert.

Fixation. Man nimmt das Bild aus dem Copirrahmen und legt es in die Flüssigkeit VIII. (unterschwefligsaures Natron), wo es alsogleich röthlich braun und sehr klar wird. Sollte es nach und nach alle Kraft verlieren, so war die Zeit der Exposition zu kurz; war es aber die richtige Zeit exponirt, so bleibt es schließlich in gehöriger Kraft. Man läßt es 30 bis 60 Minuten, wohl auch länger, in der Natronlösung liegen, wobei es etwas den Ton ändert, worauf man es herausnimmt, abtrocknet und während einiger Stunden in zwei- bis dreimal gewechseltem destillirten Wasser sehr sorgfältig auswäscht; denn ein schlecht ausgewaschenes Bild bleicht nach und verliert mit der Zeit seine ganze Kraft.

Die Fixationsmethode und die Wirkung des mit Silbersalz etwas versetzten Natrons läßt sich nicht gut beschreiben, weil die Wirkung nicht immer gleich ist, da sie von anderen vorhergehenden Umständen abhängt. Am besten kann hier den Anfänger ein doppelter Versuch zum Ziele führen. Er mache zwei positive Bilder einer, das Papier ausfüllenden Häuser-Ansicht, ein schwaches und ein überkräftiges, zerschneide beide in 4 Theile und nehme alle Viertelstunden je zwei correspondirende Bilderviertel aus der Natronlösung, die er im Wasser gut auswäscht und trocknet; hiernach kann er leicht die Wirkung seiner Lösung studiren und spätere Versuche darnach einrichten. — Die unterschwefligsaure Natronlösung wird durch das erste Hineingießen der Silberlösung und den späteren Gebrauch ganz braun, was, wenn man die Lösung nur immer filtrirt, gar nicht schadet, so lange als das Bild in seinen lichten Stellen noch weiß aus dem Bade kommt; wenn die Lösung aber so braun ist, daß sie das Papier schmutzt oder aber so entkräftet, daß die Bilder im Lichte oder gar schon im Waschwasser grau werden, so muß sie durch eine neue ersetzt werden. Nochmals kann ich in Beziehung auf die Natronlösung nicht genug Reinlichkeit empfehlen, und rathe mit dem Natron nur dann zu arbeiten, wenn man weiter kein Bild mehr macht. Man soll wo möglich eine eigene Tasse für die Natronlösung bestimmen. Um die Reaction kennen zu lernen, welche das Natron auf das Silber ausübt, überstreiche man ein Papier mit etwas Natronlösung und dann mit einer Silberlösung; man wird alsogleich die Wirkung bemerken, die nur dann für das Auge unsichtbar bleibt, wenn wenig Silbersalz mit viel Natron zusammenkommt, wie es beim Fixiren der Fall ist, wo das gebildete Schwefelsilber vom überschüssigen Natron wieder aufgelöst wird. Man muß auch das Bild schnell und ganz in die Natronlösung tauchen und die etwaigen Blasen entfernen, weil sonst leicht Flecke entstehen. — Man kann positive Bilder, namentlich Veduten, auch mit heißem unterschwefligsauren Natron fixiren, in welchem Falle sie aber überkräftig erzeugt sein müssen. Sie erhalten dann einen eigenthümlichen, nicht unangenehmen Ton, besonders wenn man erst das heiße frisch bereitete Natron etwas mit einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd versetzt hat. Das Fixationsnatron wird häufig mit Essigsäure, Salpetersäure oder einer sauren Chlorgoldlösung angesäuert und es ist entweder jedesmal frisch oder auch alt zu gebrauchen, was von dem verschiedenen Effecte abhängt, den man erzielen will.

Retouchiren der Bilder. Das nach dem Waschen vollkommen ab- und ausgetrocknete Bild wird auf einen Carton aufgeklebt, und die Portraite wer-

den von einem Maler nachgebessert; die Veduten bedürfen keiner Nachbesserung, mit Ausnahme der Deckung kleiner weißer Tupfen, die unvermeidlich sind und wodurch das Bild, wie die Künstler sagen, ruhiger wird. Die Farbe mischt man aus Mineralblau, Carmin und Sepia. Zuletzt glättet man das Bild vorsichtig mit einem Falzbein oder einem breiten Achatstein, oder wenn man eine Buchdruckerei in der Nähe hat, läßt man es am besten durch die Satinirmaschine laufen.

Beim Nachbessern von Portraiten ist es ein Fehler aller Photographen, die nicht Maler sind, daß sie die Farben im Pinsel zu kräftig nehmen und so nachbessern, daß man die Striche sieht, wodurch die Bilder oft bis zur Unkenntlichkeit die Aehnlichkeit verlieren. Die Farbe muß so blaß gemischt, und der Pinsel auf Papier so abgestrichen werden, daß man die Nachbesserung kaum sieht, und die richtige Kraft der etwa angebrachten Striche muß durch öfteres Auftragen erreicht werden. Die Augensterne müssen immer etwas gezeichnet werden, wobei man aber sehr vorsichtig sein muß. Ist ein Portrait nicht so schön, daß man nur ganz wenig nachbessern darf, um etwa blos die Rauhheiten im Papier auszugleichen, so wage man sich, wenn man nicht Maler ist, lieber nicht daran. Ein Maler kann aber aus einer Photographie sehr viel machen, und er hat dazu zwei Wege, entweder ein kräftiges Bild so zu retouchiren, daß es den Charakter einer Photographie behält, oder ein schwaches blasseres photographisches Bild in Aquarell so zu übermalen, daß die Photographie blos als Zeichenskizze dient. Der Hintergrund bei Portraiten muß entweder gemalt werden, oder er wird photographisch erzeugt.

Viele Maler lieben einen lichten Hintergrund, viele einen dunkeln. Um den einen oder den anderen Zweck zu erreichen, muß man auch in der Natur einen lichten oder dunkeln wählen, der ohne Falten gleichmäßig ausgespannt sein soll. Ist der weiße Hintergrund im negativen Bilde nicht schwarz genug, um vollkommen zu decken, so hilft man durch Uebermalen mit schwarzer Farbe ein wenig nach, wozu man, wie erwähnt, am besten schwach gummirtes Lampenschwarz (noir des bougies) nimmt. Durch das Bemalen eines Theiles des Papieres, während der andere frei bleibt, entstehen wohl Falten, welche im Copirrahmen noch mehr hervortreten, aber wenn man dort Manchester als Unterlage hat, werden sie ziemlich ausgeglichen. Durch vorsichtige Art des Bemalens kann man diesem Uebelstande wohl entgehen, wenn man es nicht vorziehen sollte, auf dem mit Wachs durchsichtig gemachten Bilde den Hintergrund zu decken, wobei man freilich die Farbe mit Ochsengalle anreiben muß, damit sie auf dem Wachs haftet, was umständlich und etwas unsicher ist. Sollte die Farbe noch nicht genug decken, so kann man aus schwarzem Papier das Portrait mit seinen etwas vergrößerten Contouren herausschneiden und das Papier von außen auf den Copirrahmen legen, wobei, da die Contouren der schwarzen Patrone von den Contouren des Portraits etwas abstehen, die Deckung mit Farbe an den letzteren vollkommen schwarz sein muß. Dunkler Hintergrund bleibt auf dem negativen Bilde licht und zeigt auf dem positiven die Papierfehler, die durch Uebermalen weggeschafft werden müssen. Ich glaube, daß ein Maler, der einen dunkeln Hintergrund will, zweckmäßiger thut, wenn er ihn in der Photographie weiß läßt, und dann dunkel malt; obgleich man den Hintergrund am positiven Bilde auch dunkel erhält, wenn man ihn am negativen Bilde rund um die Contouren des Portraites vorsichtig mit verdünntem Cyankalium ausbleicht, indem man mit diesem letzteren den Hintergrund gleichsam malt.

Sehr verdünntes Jodbromwasser, vor der Fixation zum Ausbleichen angewendet, dürfte dem Cyankalium, nach Blanquart, noch vorzuziehen sein, wenn es sich nur mit dem stärkegeleimten Maschinenpapier verträgt, was ich sehr bezweifle.

Alle diese Operationen, mit Ausnahme der Exposition im Lichte, müssen im dunkeln Zimmer gemacht werden, jedoch braucht es nicht so stark verfinstert zu sein, wie bei der Erzeugung von negativen Bildern.

Allgemeine Bemerkungen zu den negativen Bildern. Viele Photographen lieben es, sich das Papier wenigstens in den ersten Operationen vorzubereiten, um dann im Momente des Gebrauches nur eine einzige machen zu dürfen. Für diesen Fall muß man das Papier erst in eine ziemlich schwache Silbersalzlösung (z. B. ½ Loth Höllenstein auf 1 Seidel Wasser) eine Minute lang eintauchen und abtrocknen, dann aber etwas länger in ein Jodkaliumbad von gleicher Verdünnung (½ Loth Jodkalium auf 1 Seidel Wasser), worauf man das Papier mit reinem destillirten Wasser sehr gut auswäscht, durch Aufhängen trocknen läßt und zum Gebrauche aufbewahrt. Soll die Operation gut genannt werden, so muß alles Silber in Jodsilber verwandelt, und alles überflüssige Jodkalium, so wie der durch die chemische Reaction gebildete Salpeter entfernt sein. Man behauptet, daß das Papier desto empfindlicher werde, je verdünnter man die Salzlösungen genommen; es wäre nicht uninteressant, diese Grenze nach abwärts aufzusuchen. Will man das Papier später gebrauchen, so überstreicht man es mit einer etwas stärkeren, mit Essigsäure angesäuerten salpetersauren Silberoxydlösung und verfährt in den weiteren Operationen wie gewöhnlich. — Meine unter dem Titel „Erzeugung negativer Bilder" beschriebene Methode eignet sich für Aufnahme von Portraiten, Kupferstichen, Veduten ꝛc. Für letztere aber nur, wenn man unmittelbar am Aufnahmeorte das Papier bereiten kann; will man mit der Kasette sich vom Hause entfernen, so muß man entweder englisches Papier anwenden, und nach meiner später anzugebenden Methode arbeiten, oder man muß sehr starke Essigsäure nehmen, welche die freiwillige Zersetzung einige Zeit hintanhält, oder aber man wäscht das gänzlich präparirte Papier sehr gut im destillirten Wasser aus (bloßes Schwimmenlassen genügt nicht) und benutzt es entweder halb trocken oder naß auf dem Blanquart'schen Glase, wornach freilich die Empfindlichkeit etwas leidet, und wobei man beim Hervorrufen das schon öfter erwähnte Silbergallonitrat (eine Mischung aus gleichen Theilen einer essiggesäuerten salpetersauren Silberoxydlösung und Gallussäure) anwenden muß. Für Anfänger bleibt die Bereitung von Papieren, welche vor dem Gebrauche längere Zeit in der Kasette liegen sollen, immer schwierig. Für solche Fälle dürfte Blanquart's trockenes Papapier und Legray's Wachspapierproceß zweckmäßige Dienste leisten, was für Photographen, welche zur Aufnahme von Veduten reisen, sehr wichtig ist, obgleich jetzt die trockenen Collodiummethoden und Taupenot's Collodium mehr gebräuchlich sind.

Allgemeine Bemerkungen zu den positiven Bildern. Ist das negative Bild vollkommen gelungen, so hat, besonders bei Veduten, die Erzeugung positiver Copien gar keine Schwierigkeiten; sie werden schön und kräftig, und je kräftiger sie sind, einen desto schöneren Ton besitzen dieselben; nur ist er bald rothbraun, bald purpurn, schwarzbraun oder fast sammtschwarz, welcher Ton theils von der Methode der Bereitung des Copirpapieres, theils von den angewendeten Flüssigkeiten, theils endlich von der Expositionszeit im Copirrahmen und

dem Fixationsmittel abhängt. So leicht es ist, von einem negativen Bilde überhaupt eine gute Copie zu erhalten, so schwierig ist es, einen vollkommen bestimmten Farbenton zu erzielen, mit Ausnahme des mit Recht weniger beliebten Rothbraun, leider der natürlichen Farbe aller mit unterschwefligsaurem Natron fixirten Chlorsilberbilder.

Collodiumbilder auf Glas. Die negativen Papierbilder waren theilweise noch zu unempfindlich, theilweise hing der Erfolg von der Papiersorte ab, und endlich hatte jedes noch so feine Papier doch eine mehr oder weniger sichtbare Textur, die desto mehr zum Vorschein kam, je ungeübter der Experimentator war. Alle diese Umstände haben Niepce bewogen, statt des Papieres das Glas zu wählen, und es mit einem Ueberzug von Eiweiß, Leim, Kleister zu versehen, der klar und durchsichtig auf dem Glase aufgetragen und mit den photographischen Präparaten imprägnirt wird. Archer in England, nach Anderen Legray in Frankreich, haben endlich das Collodium als Träger der photographischen Substanzen anempfohlen, und da diese Methode die Kleister-, Leim- und Eiweißbilder gänzlich verdrängt hat, so soll die Beschreibung der Methode, Bilder auf Collodium zu erzeugen, wenn auch chronologisch später erfunden, dennoch den Vorrang erhalten.

Von den Glasplatten bei Collodiumbildern. Wie bei allen Glasbildern muß das Glas so viel wie möglich rein sein; Spiegelgläser sind sehr kostspielig, jedoch, wenn man Ausgezeichnetes liefern will, ist es zweckmäßig, Spiegelgläser zu wählen. Für Photographien aber, welche in den gewöhnlichen Ateliers erzeugt werden, genügen weiße Solivtafeln, und namentlich jene der belgischen Fabriken. Horn in Prag hat einen eigenen Glasplattentarif und besorgt die Gläser nach der Größe. Daß sie rein von Ritzen und Knöpfen sein müssen, versteht sich von selbst; eben so sollen sie plan und nicht wellenförmig oder bucklig gebogen sein, weil dadurch eine doppelte Fehlerquelle, sowohl bei der Erzeugung als bei der Abklatschung entsteht, wodurch die Schärfe des Bildes beeinträchtigt wird. Gekrümmte Platten haben auch noch den Uebelstand, daß sie im Copirrahmen wegen ungleichen Druckes springen. Die Glasplatten müssen rein geputzt werden, so wie eine Daguerre'sche Platte, wenn auch nicht mit derselben kleinlichen Sorgfalt. Etwas Bergkreide, Schafknochen und Spiritus, wohl auch Aether, zuletzt verdünntes Aetzkali und ein reines Leinentuch geben die Putzmittel ab. Putzbretter für Glasplatten hat man ebenfalls erfunden; sie laufen darauf hinaus, die Platten zwischen zwei linealartigen Brettern, einem festen und einem um einen Punkt beweglichen, diagonaliter einzuklemmen, während sie auf der mit Barchent überzogenen Brettunterlage liegen.

Von der Collodiumwolle und dem photographischen Collodium. Zunächst hängen die glücklichen Resultate von der guten Bereitungsweise des Collodiums selbst ab, und der Photograph hat alle Sorgfalt auf die Erzeugung desselben zu verwenden. Zuerst ist es die Collodiumwolle, welche seine Aufmerksamkeit in Auspruch nimmt; sie muß folgende Eigenschaften haben: reine schöne Baumwolle muß vollständig durch den chemischen Proceß in Collodiumwolle verwandelt werden, d. h. in etwas weingeisthaltigen Aether gebracht, muß sie vollkommen löslich sein; sie darf keine Säuren und Salze enthalten, sie muß daher gut ausgesüßt und nach dem Aussüßen gut getrocknet sein. Es giebt eine Unzahl von Methoden und Verhältnissen, Collodiumwolle zu erzeugen, und, wie es sich

von selbst versteht, ist jede nach der Meinung des Erfinders die beste. Es bleibt uns daher nichts anderes übrig, da eine Entscheidung wirklich schwierig ist, diejenige für die beste zu erklären, welche die einfachste ist.

Zwei Theile Kalisalpeter und drei Theile concentrirte Schwefelsäure werden mit einander gemischt und die Wolle fünf Minuten lang in dieser Mischung durchgeknetet, ausgewaschen, getrocknet, und in Aether aufgelöst, der mit etwas Alkohol versetzt ist. Dieses Verfahren giebt die Basis für alle Collodiumerzeugung; die verschiedenen Abänderungen beziehen sich theilweise auf kleine Veränderungen in den Mischungsverhältnissen, wohl auch in Anwendung von rauchender Salpetersäure, entweder allein oder mit Schwefelsäure oder in Verbindung mit Schwefelsäure und Salpeter. Einzelne Photographen legen einen besonderen Werth auf die Temperatur des Gemenges während der Umwandlung der Wolle in Collodiumwolle. Alle Manipulanten sind einstimmig, daß das Aussüßen bis zur minutiösen Entfernung aller Säure stattfinden muß.

Man nennt die Auflösung der Collodiumwolle in Aether Rohcollodium, zum Unterschied von der mit den photographischen Substanzen versetzten Lösung. Es ist gewöhnlich dickflüssig, da man im kleinsten Raum die größte Masse zu erhalten wünscht. Wie weit es noch vor dem Gebrauche mit Aether verdünnt werden muß, kann einzig und allein nur die Erfahrung bestimmen; — es muß, auf die Glasplatte aufgegossen, ein weder zu dickes noch zu dünnes Häutchen geben. Im letzteren Falle blättert es sich leicht ab, im ersteren Falle wischt es sich leicht ab, wird wohl auch rissig, giebt Bilder ohne Körper, kurz das rechte Maß erkennt man einzig und allein durch die Praxis, denn es muß im Sommer anders beschaffen sein als im Winter, und in warmen Ländern anders als in kalten; Monkhoven und nach ihm Glükh machen besonders auf diesen Umstand aufmerksam. Die einfachste photographische Substanz, mit der man das Collodium versetzen kann, ist Jodkalium. Man nimmt ungefähr auf das Loth Collodium, aus 2 Loth Schwefeläther und $^1/_2$ Loth bis 1 Loth absolutem Alkohol, einen Gran Jodkalium.

Das Jodkalium ist sehr schwer in absolutem Weingeist löslich und muß schwach erwärmt mit dem Weingeist verrieben werden; auch kann man eine sehr concentrirte Jodkaliumlösung in Wasser oder schwachem Weingeist machen, und einen Tropfen davon in das Collodium hineingeben, obwohl Photographen den Wasserzusatz nicht lieben. Eine weitere Erfahrung ist es, daß dieses Collodium, wie es eben beschrieben wurde, zwar das einfachste und sicherste, aber nicht das empfindlichste ist; man hat das Jodkalium mit frisch gefälltem Jodsilber imprägnirt, und dadurch kräftigere und nüancirtere Bilder erhalten, allein das Collodium wird dadurch unbeständig in seinen Wirkungen, ohne gerade an Empfindlichkeit jene Grenze zu erreichen, die man anstrebt. Jodammonium, anstatt des Jodkaliums angewendet, giebt weit empfindlichere Bilder, und es ist dieses Salz dasjenige, das vorzugsweise bei der Collodiumbilderfabrikation in Anwendung kommt. Jodkadmium, Jodzink, Bromammonium sind lauter Salze, die man in ganz kleinen Partien dem jodirten Collodium zuzusetzen pflegt, um demselben Empfindlichkeit und Tonabstufungsfähigkeit zu geben. Entschieden verdient Jodkadmium und Bromkadmium nach Ausspruch der meisten Photographen den Vorzug. Der Hauptübelstand bei Collodiumbildern ist die freiwillige Zersetzung; es wird Jod frei, die Flüssigkeit reagirt sauer und verliert dadurch ihre Empfindlichkeit. Die

Zeichnung der Halbtöne bleibt aus und das Collodium muß als unbrauchbar verworfen werden. Man hat Mittel vorgeschlagen, es wieder zu verbessern. Cyankaliumpulver, gebrannte Magnesia, ein Zinkstreifen, ein Silberstreifen wurden als Mittel angegeben, um das freigewordene Jod zu binden, und die sich bildende Säure zu entfernen. Am besten bleibt es immer, das Collodium mit so wenig Salzen als möglich zu jodiren, nicht zu viel auf einmal anzufertigen, und wenn es schlecht geworden, — ein neues zu machen.

Auftragen der Collodiumschichte. Man hat das jodirte Collodium in einem Fläschchen vorräthig, das gegen Staub und das Verdünsten des Aethers geschützt ist, und gießt daraus so viel auf die Mitte der wohlgereinigten Platte, als die Plattengröße selbst erfordert. Durch Neigen der Platte befördert man das Auseinanderfließen des Aethers, bis die ganze Platte mit einer Schichte überzogen ist, von der man den Ueberfluß über eine Ecke ablaufen läßt; man sammelt diesen in einem anderen Fläschchen, um das ursprüngliche Collodium nicht zu verderben. Uebung, und nur Uebung allein, keinesfalls eine Beschreibung kann das eigenthümliche Schwenken der Platte lehren. Man hat die Platte, statt an einer Ecke zu halten, an einer mit Gutta Percha überzogenen Handhabe befestigt, welche die Platte in einer kleinen Fläche oder in drei Punkten berührt; es ist dies eine Erleichterung, die ein Photograph anwenden mag, wenn er eben will. Die übergossene Platte trocknet fast augenblicklich, man darf sie aber nicht ganz trocken werden lassen, sondern nur so viel, daß, wenn man mit dem Finger eine Ecke berührt, er dort einen klebrigen Abdruck zurückläßt. Der richtige Moment ist, nach Anfertigung von einigen Bildern, wohl bald gefunden.

Von dem Sensibilisiren der Platte. Wenn die Platte, wie eben erwähnt, das rechte Maß der Consistenz erlangt hat, so taucht man dieselbe in einen Trog von Porzellan, oder Gutta Percha, oder Glas ein, in welchem die Sensibilisirungsflüssigkeit, das ist salpetersaures Silberoxyd sich befindet. Dieser Trog ist ein schmales, hohes, viereckiges Gefäß, steht auf einer Holzstütze etwas gegen den Horizont geneigt, und die Platte liegt auf einer Glas- oder Gutta Perchazange, und wird während des Eintauchens in einem fort hin und her bewegt. Häufig geschieht es, daß die Silbersalzlösung auf der Platte, als ob dieselbe fettig wäre, zusammenläuft; durch häufiges Aus- und Eintauchen, oder eigentlich Hin- und Herbewegen in der Flüssigkeit giebt sich dieser Uebelstand, und die Glasplatte wird bald mit einer gelblichen, opalartig durchsichtigen Schichte gleichförmig überzogen. Dies ist der rechte Moment, wo man die Platte herausnimmt, wornach man allenfalls durch ein leichtes Schwenken in der Luft die überflüssige Silbersalzlösung entfernt, oder an den Rand der Platte hintreibt, worauf man die noch feuchte Platte augenblicklich in die Kasette legt, und in der Camera obscura exponirt; die Expositionszeit dauert 5 bis 15 Secunden; bei Veduten in voller Beleuchtung ist die Wirkung fast augenblicklich.

Von der Entwickelung des Bildes. Hat man im finstern Raum die belichtete Collodiumplatte aus dem Rahmen genommen, so legt man sie horizontal auf einen Rost, oder hält sie in der Hand, und gießt darüber eine Auflösung der Pyrogallussäure in Wasser, die mit Eisessig versetzt ist. Das Bild erscheint augenblicklich; ist dies nicht der Fall, so ist das Bild selten ein gelungenes zu nennen; man kann es dann allerdings durch Zugabe von einigen Tropfen Silbersalzlösung forciren; allein selten werden derlei Bilder schön. Sie bekommen

das, was man bei Collodiumbildern einen Schleier nennt, der zwar nicht so nachtheilig ist, wie der Bromschleier bei Daguerreotypen, doch aber insofern schadet, als ein schleierloses schönere Abdrücke liefert. Derlei forcirte Bilder verlieren auch häufig die feine Nüancirung der Halbschatten.

Als Entwickelungsflüssigkeit hat man auch Eisenvitriollösungen angegeben, die theils mehr, theils weniger concentrirt genommen werden, und mit irgend einer Säure, Weinsteinsäure, Schwefelsäure, Essigsäure, Borsäure versetzt sind. Die Recepte dazu variiren sehr bedeutend. Ein solches Recept: 30 Theile Eisenvitriol auf 1000 Theile Wasser mit 1 oder 2 Tropfen Salpetersäure, Schwefelsäure oder 100 Theilen Eisessig versetzt, bildet die gewöhnliche Formel für diese Entwickelungsflüssigkeit. Eisenvitriollösung, zur Entwickelung gebraucht, giebt mehr oder weniger monotone Bilder, und es erfordert dieses Entwickelungsmittel jedenfalls mehr Aufmerksamkeit als die Pyrogallussäure.

Von der Fixation. Fixirt werden die Collodiumbilder durch concentrirte unterschwefligsaure Natronlösung, wohl auch durch Cyankaliumlösung; je rascher das Jodsilber entfernt wird, desto klarer wird das Bild, und da hier von der Erzeugung negativer Collodiumbilder die Rede ist, so hat man nach dieser Operation weiter keine Vorsicht zu beobachten, und höchstens kann man nach der Fixation das negative Bild mit einer verdünnten Schwefelwasserstoffammoniaklösung übergießen, und nochmals abwaschen, wodurch man den von Licht afficirten Stellen eine gewisse blauschwarze Nüance ertheilt, die für die Erzeugung kräftiger Positive wünschenswerth ist. Der Erfindungsgeist hat allerlei Mittel dargeboten, um zu schwache Negative zu kräftigen, überlichtete Bilder wieder zurückzuführen; allein alle diese Künsteleien sind für den eigentlichen tüchtigen Photographen von wenig Werth; er erzeuge von Haus aus gute Bilder, und mißlingt ihm eines, so vertilge er dasselbe. Ist das negative Collodium gut abgewaschen, so wird es mit einer Lösung von Gummi in Wasser (50 Gran Gummi auf 1000 Gran Wasser) übergossen, und zum Trocknen auf einen staubfreien Ort hingelehnt. Diese Gummiflüssigkeit darf nicht zu dick sein, aber auch nicht zu dünn, besonders aber darf sie keine Luftbläschen enthalten; es wetzt sich bei stärkerem Druck die Gummilösung ab, und nimmt das Collodium mit sich, wodurch das Bild mit kleinen Lückchen durchbrochen erscheint. Wenn die Gummilösung vollkommen trocken ist, so kann man zum Abziehen der positiven Collodiumbilder schreiten. Auch verdünnte Leimlösung oder Firnisse dienen zum Schutze der Collodiumnegative.

Eiweißbilder. Niepce hat seine ersten Versuche vorzugsweise auf Eiweiß angestellt. Das Weiße der Hühnereier wird mit Jodkalium versetzt, zu Schnee geschlagen und stehen gelassen. Es setzt sich dabei eine klare Flüssigkeit ab, die man sammelt und auf Glasplatten gerade so wie Collodium aufträgt. Man legt die Platten horizontal an einen staubfreien Ort und läßt sie dann trocknen; zur Zeit der Exposition sensibilisirt man die Platten mit einer essigsalpetersauren Silberoxydlösung, exponirt ziemlich lange, denn das Eiweiß hat leider den Uebelstand, sehr unempfindlich zu sein; hierauf ruft man mit Gallussäurelösung das Bild auf gewöhnliche Weise hervor. Fixirt wird mit unterschwefligsaurem Natron, worauf man die Platte wäscht und zum Trocknen hinstellt; von einem solchen negativen Bild zieht man auf bekannte Weise die positiven ab.

Auch diese Methode hat ihre Modificationen und Verbesserungen erlitten; sie ist aber von der Collodium-Methode gänzlich verdrängt worden, mit Ausnahme

von positiven Eiweißbildern, welche man bei der Fabrikation von Stereoskopbildern nebst den Collodiumbildern anwendet.

Die Hauptverbesserungen sind ungefähr folgende: Das Eiweiß von Enteneiern soll empfindlicher sein. Die meisten Photographen nehmen frisches Eiweiß, manche aber lassen das Eiweiß mit Zucker oder Honig gähren und sich wieder abklären, manche trocknen die Eiweißschichte horizontal gelegt, manche vertical gestellt; einzelne warten 12 bis 15 Stunden, bis es von selbst trocken geworden ist, andere wenden einen künstlichen Trockenapparat an. Alle die Nüancirungssubstanzen, wie z. B. Jodammonium, Jodzink, Bromkadmium, welche man beim Collodium gebraucht, können auch beim Eiweiß versucht werden. Eben so ist Eisenvitriollösung als Entwickelungsflüssigkeit anzuwenden; Honig, Melasse, Quittenschleim, Gummi werden dem Eiweiß zugesetzt, um es theils empfindlicher, theils weniger spröde zu machen; vorzugsweise aber hat das Eiweiß in der Taupenot'schen Methode seine Anwendung gefunden. Es ist diess eine Verbindung des Collodiumprocesses mit dem Eiweißproceß, und dient besonders dazu, um die Collodiumbilder theils zu schützen, theils um mit trockenem Collodium arbeiten zu können, was vorzüglich für die Aufnahme von Veduten wünschenswerth ist, da man auf Reisen die Platten nicht immer an der Stelle der Aufnahme bereiten kann.

Taupenot's Verfahrungsweise ist folgende: Man gießt auf die collodionirte Platte, nachdem diese das Silberbad passirt hat, und mit destillirtem Wasser gewaschen ist, ein wenig Eiweiß, welches 1 Proc. Jodkalium enthält, und läßt im Dunkeln abtropfen und trocknen. Man präparirt auf diese Weise nach einander so viel Platten als man will. Sie halten sich wenigstens 4 oder 5 Tage lang gut. Um sie anzuwenden, bringt man sie in das gewöhnliche essigsalpetersaure Silberbad, welches 10 Proc. Essigsäure und 10 Proc. salpetersaures Silberoxyd enthält. Man läßt sie 10 bis 12 Minuten lang in diesem Bade, wäscht sie mit destillirtem Wasser, und benutzt sie entweder unmittelbar feucht oder trocken am Tage ihrer Präparation, oder am folgenden Tage, wo ihre Empfindlichkeit noch dieselbe ist. Nach der Exposition kann man nöthigenfalls einen Tag lang warten, bis man das Bild entwickelt. Man kann Gallussäure oder Pyrogallussäure anwenden. Erstere (gesättigte Lösung mit Zusatz von 1 oder 2 Tropfen frischem salpetersaurem Silber) entwickelt das Bild langsamer, giebt ihm etwas mehr Gegensatz und fleckt weniger. Die Pyrogallussäure kann in verschiedenen Mengen angewendet werden, mit oder ohne Zusatz einer Lösung von salpetersaurem Silber (von 3 Proc. Gehalt). Wendet man sie mit salpetersaurem Silber vermischt an, so genügen einige Minuten, um das Bild zu entwickeln; es können dann aber leicht Flecken entstehen, und man muß das essigsalpetersaure Silberbad, welches den Platten ihre letzte Empfindlichkeit giebt, unmittelbar vor der Anwendung filtrirt haben.

Auch hat man das Eiweiß für positive Bilder angewendet. Man überzieht nämlich das Papier mit einer mit Kochsalz präparirten Eiweißschichte, läßt sie durch Aufhängen trocknen, macht das Eiweiß entweder durch ein heißes Bügeleisen, oder auch durch starken Alkohol für die nachfolgende Procedur der Sensibilisirung unempfindlich, oder, wie man zu sagen pflegt, man fixirt das Eiweiß auf dem Papiere. Es bekommt das Papier dadurch einen gewissen Glanz, und das Bild befindet sich mehr an der Oberfläche und dringt nicht so in die Papiermasse ein, was man auch durch Präparation mit Molken oder durch einen Kleisterüberzug

erreichen kann; letzterer ist dem Eiweißüberzug für Positive vorzuziehen, weil er nicht färbt, während der Eiweißüberzug den Lichtern immer einen gelben Ton giebt, der das ganze Bild weniger schön macht. Die Staatsdruckerei in Wien hat ein eigenes Verfahren mit gefällter Thonerde empfohlen, das ebenfalls entschieden dem Eiweißüberzug vorzuziehen ist.

Kleisterbilder auf Glas. Man macht aus feinster Weizenstärke, die man mit etwas Essigsäure abreibt, einen Kleister, indem man das Stärkemehl in siedend heißes Wasser einrührt, mit etwas Jodkalium oder Jodammonium versetzt, und auf die Glasplatte gerade so wie Eiweiß oder Collodium aufgießt, durch Schwenken gleichmäßig verbreitet, das Ueberflüssige wie beim Eiweiß oder Collodium abgießt, und die Platte zum Trocknen hinlegt; auch hierbei kann nöthigenfalls Wärme angewendet werden, allein freiwilliges Trocknen macht sich wohl, wie beim Eiweiß gleichmäßiger, wenn nicht ein eigener Trockenapparat dazu vorgerichtet wird. Eben dieses langsame Trocknen der Eiweiß- und Kleisterbilder, so wie der zu besprechenden Leimbilder ist es, was den schnell trocknenden Collodiumbildern, die im Momente des Aufgießens fast fertig sind, so großes Uebergewicht verliehen hat. Hervorgerufen wird mit Gallussäure; ob Pyrogallussäure dazu anwendbar wäre, ist mir nicht bekannt. Die Essigsäure unter das Stärkemehl zu geben ist nothwendig, um die allenfallsige Reaction von freiwerdendem Jod zu verhindern. Sonst sind Kleister- und Eiweißbilder weniger schwierig zu behandeln, als Collodiumbilder, wenn man nur beim Trocknen Staub abgehalten hat. Kleisterüberzug auf Positiv-Papier wird aufgetragen, indem man einen dünnflüssigen Kleister mit Kochsalz imprägnirt, worauf man das Papier schwimmen läßt, und es durch Aufhängen, oder mittelst eines Leinentuches trocknet.

Leimbilder und Gallertebilder auf Glas. Dieser Stoff in die Photographie eingeführt, hat sich in derselben nicht die Bedeutung errungen, die er gewiß verdient, und seine größere Anwendung wird er erst durch Poitevin's und Pretsch's Phototypie erhalten. Derselbe theilt mit dem Eiweiß und dem Kleister das langsame Trocknen; im übrigen hat er Vorzüge und Nüancirungen, die, so viel mir bekannt, nur Weeger allein hervorgebracht hat, und bei einer gewissen, noch nicht recht durchstudirten Behandlung bekommt das Bild ein Korn, so daß es dadurch vollkommen kupferstichähnlich wird. Bei Leimbildern hat man nur zu bemerken, daß man keine Essigsäure anwenden darf, weil der Leim oder die Gelatine dadurch im Wasser auflöslicher werden. Man versetzt die Leimlösung mit Jodkalium, allenfalls auch Cyankalium, indem man feinzerschnittenen Leim in Wasser einweicht, welches diese Stoffe aufgelöst enthält. Ist der Leim vollkommen aufgequollen, so nimmt man ihn heraus, schmilzt ihn im Wasserbade, seiht ihn durch ein feines Leinentuch, wobei man durch Pressen mittelst Glasstäben, oder auf irgend eine Weise das Durchgehen der Leimlösung befördert, und trägt dann die noch warme Flüssigkeit, so wie Eiweiß und Kleister auf die Glasplatte auf. Ist die Oberfläche der Glasplatte gleichmäßig überzogen, so legt man dieselbe horizontal zum Trocknen hin. Der Leim gelatinirt in einigen Stunden und nun wird zur Sensibilisirung mit einfachem salpetersauren Silberoxyd geschritten. Das Hervorrufen geschieht durch Gallussäure. Die Formel für die Jodirung des Leimes lautet: 5 Loth Wasser, 30 Gran Jodkali, 5 Tropfen Cyankaliumlösung, 1 Loth Pergamentleim. Für die Sensibilisirung dient die gewöhnliche Silbersalzlösung. Die Fixation geschieht entweder mit Bromkalium-

lösung (1 : 60) oder mit unterschwefligsaurem Natron. Das wohlgewaschene und getrocknete Bild wird dann auf gewöhnliche Weise übertragen.

Vom Gelatiniren der positiven Bilder. Man nimmt reinen schönsten Leim oder Gelatine, weicht sie in Wasser ein, wechselt das Wasser einigemale, bis der Leim elastisch aufgequollen ist, dann nimmt man eine reine Spiegelglasplatte, putzt sie, wo möglich mit gereinigter Ochsengalle, läßt den Leim in einem Wasserbade zerschmelzen, und gießt ihn auf die Glasplatte, breitet ihn durch Schwenken gleichförmig auf der Glasplatte aus, gießt das Ueberflüssige ab und legt die Platte zum Trocknen hin. Der Leim gelatinirt oder sulzt sich, und sobald er so trocken geworden ist, daß man mit dem Finger einen klebrigen Eindruck machen kann, so legt man die fertige nicht retouchirte Photographie schwimmend auf reines Wasser, nimmt sie von demselben herab, trocknet sie leichthin ab, und legt sie auf die noch klebrige Leimschichte, indem man sie mit dem Finger sanft anreibt; man läßt dann die Leimschichte mit dem Bilde über Nacht gänzlich austrocknen, und wenn man des Morgens mit einem Federmesser rund um das Bild herumfährt, und die Ecken sanft lüftet, so springt das Bild leicht von der Glasplatte ab, und ist mit der Gelatineschichte überzogen. Alle Schattenpartien kommen brillanter zum Vorschein, und das ganze Bild, das früher matt war, wird nun glänzend. Ich habe gesagt: ein unretouchirtes Bild, man kann auch retouchirte Bilder gelatiniren, aber die Farben müssen auf irgend eine Weise haltbarer gemacht sein, so daß sie sich durch das Schwimmenlassen nicht auflösen, oder aber man muß das Bild blos von rückwärts feuchten, und auf die noch ziemlich feuchte Leimschichte auflegen und andrücken, wobei man freilich Sorge zu tragen hätte, daß die Leimschichte nicht ungleichförmig zerdrückt, und an manchen Stellen dünner wird.

Von den direct positiven Bildern auf Collodium, auf Wachspapier, auf Wachsleinwand und dergleichen. Die Daguerreotypie liefert unmittelbar aus der Camera obscura directe Positivs, die zwar nur in einem Exemplare erzeugt werden, aber alle Feinheiten des optischen Bildes besitzen. Durch das Abklatschen der negativen Talbotypien geht diese Feinheit mehr oder weniger verloren, und es war daher der Wunsch rege, Papier- oder Glasbilder auf direct positivem Wege zu erzeugen. Alle richtig erzeugten Glasbilder haben den Charakter der Positivität, wenn man sie im reflectirten Lichte ansieht; nur sind sie meistens braun und verschleiert, und zwar desto mehr, je kräftiger sie als negative Bilder erscheinen. Wenn man aber bei richtiger Wahl der photographischen Flüssigkeiten die Expositionszeit sehr kurz macht, so erhält man durch passende Anwendung der Entwickelungsflüssigkeit im reflectirten Lichte ein sehr schönes, direct positives Bild. Die vorzüglichsten Umstände, die man dabei zu beobachten hat, sind kurze Expositionszeit bei starkem Licht, und nicht zu energisch wirkende Entwickelungsflüssigkeit, die nöthigenfalls, besonders wenn sie Eisenvitriol ist, etwas angesäuert sein muß; nach der Fixation müssen alle Schattenpartien vollkommen durchsichtig sein, worauf man das ganze Bild, wenn es trocken geworden, mit einem schwarzen Firniß überzieht oder mit einem schwarzen Sammet unterlegt, und wie ein Daguerreotyp ansieht. Da das Bild auf dem Collodiumhäutchen erscheint, so kam man auf den Gedanken, dieses mit Wachsleinwand zu überkleben, und sammt der Wachsleinwand vom Glase abzuziehen. Es geschieht dieses nach Glückh am besten, indem man die Wachsleinwand mit Alkohol rein

putzt, auf dem fertigen Collodiumbild eine kleine Menge Alkohol ausbreitet, die Wachsleinwand mit der schwarzen Fläche luftblasenfrei darauf legt und durch eine Spirituslampe von der Glasseite her erwärmt. Ist der Spiritus dabei verdampft, und dies Bild trocken geworden, so kann man die Wachsleinwand sammt dem Collodiumhäutchen bequem abziehen, und man hat ein biegsames Daguerreotyp auf Wachsleinwand, mit aller Feinheit der ursprünglich Daguerre'schen Bilder, jedoch ohne den störenden Metallglanz. Es giebt eine Menge Methoden solche Wachsleinwandbilder zu erzeugen, namentlich um die respectiven Lichter recht weiß zu machen, wozu eine Waschung mit Doppelchlorür von Quecksilber oder mit Silbercyanlösung vorzugsweise empfohlen wurde. Gewiß ist, daß alle diese Künsteleien, wenn auch in manchen Fällen zweckdienlich, doch am besten vermieden werden, indem man durch die gewöhnliche einfache Manipulation dieselben Zwecke erreicht. Von den vielen Formeln nur eine: Auf gewöhnliches, vielleicht im Häutchen etwas dick gehaltenes Collodium mit der gewöhnlichen Sensibilisirungsflüssigkeit dient eine Entwickelungsflüssigkeit von 160 Gran Eisenvitriol, 30 Gran Eisessig und 1000 Gran Wasser; zur Fixation dienen 40 Gran Cyankalium und 1000 Gran Wasser; zur Ansäuerung der Sensibilisirungsflüssigkeit, und namentlich der Entwickelungsflüssigkeit hat man auch 1 Tropfen Salpetersäure oder Borsäure empfohlen. Manche Photographen, wie z. B. Norris, nehmen bei der Entwickelungsflüssigkeit sehr wenig Eisenvitriol, z. B. 8 Theile auf 1000 Theile Wasser, welche Widersprüche sehr leicht ihre Erklärung darin finden, daß man eben die Expositionszeit, die Empfindlichkeit des Collodiums ꝛc. darnach modificiren, das heißt, die Methode studiren muß. Schließlich habe ich noch zu erwähnen, daß man auch auf Leim, Eiweiß, Kleister ꝛc. solche Positivs erzeugen kann; daß aber die Collodiumpositivs in jeder Beziehung den Vorzug haben.

Von dem Aufnehmen der Vedutten, der Portraite und dem Copiren von Kupferstichen und plastischen Gegenständen. Bei der Aufnahme von Vedutten hat man vor Allem auf einen günstigen Standpunkt zu sehen, der mit künstlerischem Geiste aufgesucht werden muß. Die Schwierigkeiten des begrenzten Raumes in der Camera, abhängig von der Focaldistanz und Aufnahmedistanz, ist nicht unbedeutend und muß wo möglich durch die Wahl eines zweckmäßigen Apparates ausgeglichen werden. Die Camera muß sich wo möglich horizontal von dem Mittelpunkte der aufzunehmenden Gebäude befinden; jedes Neigen der Camera nach abwärts und aufwärts hat ein Verziehen der Bilder zur Folge, was sich oft bis zur Widernatürlichkeit steigert. Leisten die Wiener Apparate in Beziehung auf das Portraitiren vorzügliches, so sind in Rücksicht auf Vedutten die französischen weit voraus. Daß man bei Landschaften mit so kleinen Diaphragmen als die Lichtstärke erlaubt, arbeiten muß, versteht sich von selbst, da dadurch die Schärfe des Bildes vermehrt wird. Kann man nicht am Orte der Aufnahme die Platten präpariren, so wird man am besten thun: entweder auf Wachspapier die Bilder zu erzeugen, oder nach der Taupenot'schen Methode, auf albuminirte Collodiums.

Bei Aufnahme von Portraiten hat man auf leichte graziöse Stellung des zu Portraitirenden zu sehen; den Kopfhalter, den Schraubenzwinger der Grazie, wo möglich zu vermeiden, und auf die Wahl der Bekleidung so viel wie möglich Rücksicht zu nehmen. Diese letztere soll nicht zu grell sein, und nicht gänzlich glanzlos, besonders aber soll die gelbe Farbe und die weiße vermieden werden; die letztere,

weil sie zu wenig, die erstere, weil sie zu viel wirkt. Nimmt man Gruppen auf, so hat man die Köpfe wo möglich in einerlei Ebene zu stellen, höchstens die am Rand der Gruppe stehenden Personen können um etwas weniges nach vorwärts stehen; Kinder können nur mit dem empfindlichsten Collodium photographirt werden, und es ist die Aufnahme derselben die Plage der Photographen von Profession. Kupferstiche müssen ganz genau in einer verticalen Ebene stehen, die senkrecht ist auf die horizontale Achse der Camera obscura; denn nur so ist die Krümmung an den Rändern, wenn auch nicht verschwunden, doch wenigstens auf ein gleichförmiges Minimum reducirt.

Plastische Gegenstände, besonders wenn sie nicht sehr groß sind, und sehr nahe aufgenommen werden sollen, geben wegen ihrer Tiefe ein wenig scharfes Bild; man erhält entweder die vordere Fläche oder die rückwärts liegende sehr scharf; kann oder soll man die Distanz nicht so wählen, daß diese Ungleichheit verschwindet, so ist es am zweckmäßigsten von plastischen Gegenständen sehr kleine überscharfe Bilder in gehöriger Entfernung anzufertigen, und dieselben dann mittelst eines Vergrößerungsapparates positiv zu copiren, und sie dann bis zu jenem Punkte zu vergrößern, der eben verlangt wird. Bei Copirung von Kupferstichen hat man auch besonders darauf zu sehen, daß die lichten Stellen im negativen Bilde tief schwarz werden.

Photographische Mikroskopie. Vom größten wissenschaftlichen Interesse ist die photographische Mikroskopie oder auch Megaskopie. Man projicirt die Bilder des Sonnenmikroskopes gewöhnlich auf ein photographisch bereitetes Glas oder Papier und verfährt im übrigen gerade so wie bei den Aufnahmen von anderen photographischen Bildern. Die größte Schärfe des Einstellens muß beobachtet werden, und namentlich muß untersucht werden, ob eine Differenz zwischen dem chemischen und optischen Focus stattfindet; die Beleuchtung und die Zeit der Exposition müssen nach Maßgabe der Durchsichtigkeit des zu copirenden Objectes modificirt werden, und endlich soll man nur sehr gelungene Präparate copiren, die sehr rein in Balsam oder einer anderen Substanz eingelegt sind, weil man sonst das Bild des Objectes rings herum um seine Contouren mit schwarzer Farbe decken müßte, da alle Staubtheile des Hintergrundes mit portraitirt werden.

Pohl in Wien hat meines Wissens zuerst die Aufnahme von mikroskopischen Bildern mit dem zusammengesetzten Mikroskope selbst vorgenommen; er wendet von einem Plößl'schen Mikroskop die mittlere Vergrößerung an, setzt das aplanatische Ocular ein, und erhält bei Anwendung eines Glasprismas von einem horizontal liegenden Object ein verticales Bild. Er hat nämlich eine kleine photographische Camera obscura, wo von dem Loche der Objectivlinse aus, die natürlich abgeschraubt ist, eine Tuchröhre sich um das Mikroskop schlingt, dort allenfalls fest gebunden wird und so jedem fremden Lichte den Zugang absperrt. Die Bilder werden äußerst scharf, besonders wenn man sie nicht zu groß macht, was immer ein prahlerisches Unding ist, indem mittelgroße haarscharfe Bilder aller Anforderung am besten genügen. Man stellt das Mikroskop ein, so daß man durch den Beleuchtungsspiegel die Sonnenstrahlen oder die Strahlen eines Drumond'schen Lichtes auf das Papier wirft. Hierbei kann ich den Umstand nicht übergehen, daß Böttger in Frankfurt die Entdeckung gemacht hat, daß Schwefel und Phosphor im Sauerstoffgase verbrannt, ein Licht geben, das bedeutende chemische Wirksamkeit hat, so zwar, daß man in dieser Beleuchtung fast augen-

blicklich ein photographisches Bild von dem beleuchteten Gegenstande auf Collodium erhält.

Heliochromie. Die Heliochromie oder die Erzeugung von Bildern mit ihren Farben blos durch chemische Mittel ist bis jetzt ein frommer Wunsch der Photographen, ungeachtet, besonders in Amerika, zeitweise Gerüchte von der gemachten Erfindung auftauchten, hat sich keine bewährt und wird sich auch keine bewähren. Die einzige wirkliche wissenschaftliche Versuchsreihe ist die von Becquerel angestellte, der übrigens vorzugsweise das Sonnenspectrum portraitirt hat. Sein Verfahren besteht hauptsächlich darin, daß er eine Silberplatte mit dem positiven Pol einer galvanischen Säule verbindet, die wohlgepützte Silberplatte in eine Mischung von Chlorwasserstoffsäure und Wasser eintaucht, und durch einen elektrischen Strom die Zersetzung einleitet, wodurch das Chlor auf die Silberplatte übergeführt wird; natürlich ist die Rückseite der Silberplatte mit Firniß überzogen. Das Mischungsverhältniß der Salzsäure und des Wassers ist 1 : 8. Becquerel legt einen großen Werth darauf, die Menge des Chlores, das auf die Platte niedergeschlagen wird, zu bestimmen; — den überflüssigen, bei einer dickeren Schichte entstehenden, leichten, weißlichen Staub entfernt er mit einer Sammetfeile; auch wendet er nach Umständen Erwärmung an, allein seine Vorsichten und Abänderungen sind so complicirt, und stehen mit den praktischen Resultaten in so geringem Einklange, daß eine nähere Beschreibung unstatthaft ist, daher wir in dieser Beziehung auf seine Originalabhandlungen verweisen. Zum Schlusse der Heliochromie kann ich nicht unerwähnt lassen, daß Hill's Farbenbilder ein großartiger amerikanischer Puff waren, der längere Zeit hindurch beim größeren Publikum den Schein der Wahrheit für sich hatte.

Phototypie. Man versteht unter Phototypie die Kunst die photographischen Bilder auf den lithographischen Stein, oder auf eine Stahlplatte, oder auf eine Kupferplatte zu übertragen und durch weitere chemische Mittel zum Abdruck vorzubereiten. Niepce hat den ersten Anlaß dazu gegeben; seit der Zeit haben eine große Menge von Gelehrten und Künstlern, wie z. B. Lemaitre, Rousseau, Deveria, Baldus, Salmon und Garnier, Poitevin, Pretsch sich mit dieser Sache beschäftigt und mehr oder weniger recht gelungene Resultate zu Tage gefördert. Wollen wir von der ersten Erfindung die Daguerreotypbilder zu ätzen, die Berres, Fizeau, Grove, Piil vorzugsweise cultivirt haben, absehen, so zerfällt die neuere Phototypie in Bezug auf die Druckmittel in die Photolithographie und Photokalkographie, je nachdem man die Bilder auf Stein- oder Metallplatten überträgt. Die alte Methode die Daguerre'schen Bilder zu ätzen, konnte man fast abgeschlossen betrachten. Sie besteht darin, die Quecksilberschichte gleichsam als Deckfirniß zu benutzen und durch Vergoldung oder nach der leichten Aetzung durch Druckerschwärze diejenigen Stellen, die von der ätzenden Säure nicht weiter angegriffen werden sollen, zu reserviren, um dann desto tiefer ätzen zu können. Doch alle diese Mittel, so künstlich sie neben dem galvanischen Strom angewendet werden, haben immer ein seichtes, für viele Abdrücke untaugliches Bild gegeben, das allenfalls nur auf kalkirtem Papier im Abdruck zu einiger Stärke gelangen konnte. Die neuere Phototypie hat diesen Uebelstand nicht; die Methode des Niepce besteht darin, daß er Judenpech oder Asphalt in Aether oder Benzin oder einem anderen ätherischen Oel auflöst, diese Auflösung auf den Stein oder die Platte gießt, die nach dem Trocknen unter einem

photographischen Bilde dem Lichte ausgesetzt wird, wodurch bekanntlich das Judenpech die Eigenschaft erhält, daß die vom Lichte getroffenen Stellen unlöslich werden; wenn man daher die Platte nach der Exposition mit einem ätherischen Oele, einer Mischung aus Steinöl und Lavendelöl übergießt, so werden sich die beschatteten Stellen auflösen, während der Asphaltfirniß auf den belichteten Stellen haften bleibt. Dieser Umstand giebt nun die Basis für das weitere Verfahren. Auf dem Stein wird das Bild nach der weiteren gewöhnlichen lithographischen Methode behandelt; auf Metallplatten wird eine Aetzung vorgenommen, nachdem man der Platte selbst, wenn es nöthig war, durch Harzstaub des sogenannten Aqua tinta Korn gegeben hat. Niepce hat nun eine Menge Abänderungen, Verbesserungen und Erfahrungen gemacht, welche die Phototypie seit der Erfindung auf einen weit vollkommeneren Standpunkt gebracht haben. So z. B. bereitet er seinen Firniß aus 100 Gran Benzin, 5 Gran Judenpech, 1 Gran gelbes Wachs; seine Auflösungsmittel für den durch das Licht modificirten Firniß besteht aus 5 Theilen Steinöl und 1 Theil Benzin. Er läßt vor der Anwendung Licht und Luft auf den Firniß einwirken, vermischt denselben mit verschiedenen ätherischen Oelen, wie z. B. mit Zitronenschalenöl, Bergamottöl, Spiköl 2c., kurz, das Feld zu Versuchen ist fast so großartig wie das der Photographie selbst. Ich habe hier nur noch zu erwähnen, daß er für Aetzung von Stahlplatten Jodwasser anwendet, und daß endlich seine Erzeugnisse bei der großen Pariser Ausstellung mit der großen goldenen Medaille ausgezeichnet wurden.

Poitevin hat die Wirkungen der chromsauren Salze in Verbindung mit Gelatine als die Grundlage seiner Versuche angenommen, und seine Methode dürfte, wenn sie auch an Feinheit der Niepce'schen nachsteht, in praktischer Beziehung doch leichter auszuführen sein. Nebst vielfältigen Versuchen, ein neues Gravirverfahren auf Silber oder versilberten Kupferplatten, auf photographischem Wege erhabene oder vertiefte Stiche zu erhalten, hat er auch eine Methode, ein Bild auf Holz, Stein oder Glas zu copiren, daß davon Abdrücke genommen werden können. Er trägt zu diesem Zwecke auf der Fläche (Papier, lithographischen Stein, Glas, Metall, Holz 2c.), welche die Zeichnung oder photographische Copie aufnehmen soll, eine oder mehrere Schichten von einem Gemisch auf, welches aus gleichen Raumtheilen einer concentrirten Eiweißauflösung und zweifach chromsaurem Kali besteht. (Statt des Eiweißes kann auch arabisches Gummi, Gallerte 2c. angewendet werden, und statt des chromsauren Kali jedes chromsaure Salz, dessen Basis die organische Substanz der ersteren Auflösung nicht niederschlägt.) Nachdem diese Schicht ausgetrocknet ist, läßt er auf dieselbe das Licht einwirken, indem er sie hinter dem negativen Bild oder im Haus der Camera obscura anbringt; die erforderliche Belichtungszeit hängt von der Intensität des Bildes ab. Nach der Belichtung trägt er auf die Fläche mittelst des Tupfballens oder der Walze eine Schicht fetter Schwärze oder sonstiger Farbe auf, dann wäscht er sie in viel Wasser oder mit dem Schwamm, oder er passirt eine Walze über die geschwärzte Fläche, nachdem sie mit Wasser befeuchtet worden ist. Die fette Schwärze löst sich von allen Theilen ab, auf welche das Licht nicht einwirkt. Wenn das Bild, durch welches hindurch das Licht auf die empfindliche Fläche gewirkt hat, ein negatives war, so erhält man eine positive Copie, und wenn die angewandte Fläche ein lithographischer Stein war, so kann man, indem man ihn einschwärzt, unmittelbar Abdrücke machen, wie wenn man die Zeichnung mit fetter Kreide oder mit der

in fette Tinte getauchten Feder auf demselben ausgeführt hätte. Ist hingegen das aufgelegte Bild, durch welches hindurch das Licht einwirkte, ein positives, so ist die auf Stein erhaltene Zeichnung eine verkehrte oder negative.

Photographische Notizen. Um die so eben beschriebenen Methoden nicht mit Dingen zu unterbrechen, welche ihnen selbst nicht eigenthümlich sind, so folgen hier noch einzelne Notizen, die mehr oder weniger von Wichtigkeit sind, und daher am Schlusse dieses Artikels einen Raum finden mögen. Wollte man übrigens in alle Einzelnheiten dieser schönen Kunst eingehen, so würde dies zu weit führen, besonders wenn man über die Chemikalien in der Photographie sprechen wollte; ich kann in dieser Beziehung vorzugsweise nur auf die so reiche Literatur der Photographie verweisen. Die Zahl der photographischen Bücher, so wie der Abhandlungen in den Zeitschriften, ist so bedeutend, daß die Aufzählung allein einen mächtigen Band ausfüllen würde. Vorzüglich haben sich Krüger's Vademecum der Photographie, Halleur's Handbuch der Photographie und A. Martin's Handbuch und Repertorium der Photographie in Deutschland Eingang zu verschaffen gewußt. Unter den Zeitschriften ist Horn's photographisches Journal das einzige in deutscher Sprache erscheinende; Frankreich, England und Amerika haben mehrere photographische Journale aufzuweisen. Nach dieser kurzen literarischen Andeutung kommen wir zum Schlusse zu den noch wichtigen photographischen Notizen.

Apparate zur Vergrößerung kleiner negativer Bilder zu großen Positivs und umgekehrt, wurden von Hennemann, Schnauß, Skopal und Anderen construirt. Ihre verschiedenen Eigenthümlichkeiten bestehen in der Befestigung des Bildes, der Kasette und der Art, wie das Bild regulirt wird. Hat ein Photograph einmal den Zweck der Vergrößerung vor Augen, so kann er sich leicht einen Kasten machen lassen und die Objective seiner Portraitirungs-Camera obscura zur Vergrößerung verwenden.

Ceroleïn wird nach Geoffroi zweckmäßig unter das Collodium gegeben, auch kann man es beim Wachspapierproceß anstatt des Wachses anwenden.

Chrysotyppapier, Cyanotyppapier, Aurotyppapier, Chromatyppapier und Energiatyppapier sind so wie das Fluorotyppapier, Irityppapier Erfindungen und Verbesserungen, die theilweise veraltet sich keinen praktischen Werth errungen haben; übrigens findet man alle diese Methoden in A. Martin's Handbuch der Photographie im Detail beschrieben. Die Stoffe, die vorzugsweise dabei in Anwendung kommen, haben größtentheils den Methoden selbst den Namen gegeben.

Eisenammoniak, citronensaurer, wurde ebenfalls in der Photographie, namentlich von Legray für positive Bilder anempfohlen.

Erwärmen der Flüssigkeiten in kalten Wintertagen ist nach Luze ein wesentliches Moment des Gelingens, und es ist wirklich auch nach meinen Erfahrungen nicht zu leugnen, daß die Temperatur den größten Einfluß auf die Empfindlichkeit ausübt.

Fixationsmittel. Als Fixationsmittel hat man für Negativs Cyankalium, Bromkalium, Cyansilbersalzlösung empfohlen. Für Positivs dient auch concentrirte Kochsalzlösung, Ammoniak, Salmiaklösung, Alaunlösung, Bromkaliumlösung; für besondere Zwecke kann man das eine oder das andere anwenden, weil die verschiedenen Fixationsmittel verschiedene Töne erzeugen, allein für die

eigentliche Praxis ist das unterschwefligsaure Natron unersetzbar; — kaustische Natronlauge: 20 Tropfen in 6 Unzen Wasser wird nach vorhergegangener Fixation mit Ammoniak von Wagemann empfohlen.

Fixationswalze. Die Nothwendigkeit, alle Salzlösungen aus dem fixirten Bild hinauszuschaffen, macht ein starkes Aussüßen nöthig; allein es bleibt doch immer Flüssigkeit in dem Papier, und man hat daher geglaubt durch mechanischen Druck alle Flüssigkeit, vorzüglich die Natronlösung herauszupressen. Bayard und nach ihm Horn empfehlen zu diesem Zwecke eine Walze aus Glas oder Stein, die über eine Spiegelglastafel oder einem anderen Stein rollend und pressend hingeführt wird, während das Bild zwischen Walze und Unterlage auf der letzteren liegt. Der Druck preßt hier alle Flüssigkeit aus dem Bilde heraus.

Fleckentinktur. Concentrirte Cyankaliumlösung mit Jodtinktur versetzt bringt am besten Flecke aus den Händen und aus der Wäsche heraus; nur muß im letzteren Falle das Cyankalium nicht eisenhaltig sein.

Gutta-Percha- und Collodiumbilder. Die Staatsdruckerei in Wien zieht ihre negativen Collodiumbilder auf Gutta-Percha-Häutchen ab, indem sie die Gutta Percha in Chloroform auflöst, diese Lösung auf das Collodiumbild gießt, trocknen läßt, mit einem Papierrand versieht und das Häutchen sammt dem daran haftenden Collodiumbild von dem Glase abzieht. Benzin so wie Naphta wird von Andern als Auflösungsmittel der Gutta Percha empfohlen. — Collodiumflüssigkeit wurde häufig mit Gutta-Percha-Auflösung in Chloroform versetzt, wodurch die Schichte eine gewisse Festigkeit bekommen soll.

Harnstoff in das Collodium gegeben soll das Sauerwerden desselben verhüten und somit zur Dauerhaftigkeit des Collodiums beitragen.

Hintergrund, photographischer. Da der Hintergrund bei Portraiten selten rein wird, so pflegt man ihn gewöhnlich in dem Negativ gänzlich zu decken und dann zu malen, was wieder viele Mühe und Kunst erfordert; man hat daher photographische Hintergründe erfunden. Man macht ein positives Bild, schneidet genau die Figur heraus, nachdem man die Rückseite des positiven Bildes ganz schwarz gemacht hat. Zuerst exponirt man das negative Bild, deckt aber mit der schwarzen Schablone des Hintergrundes den Hintergrund selbst; hierauf nimmt man den Copirrahmen auseinander, deckt die Figur mit der schwarzen Figurenschablone und exponirt den Hintergrund, dem man durch Beschattung mittelst eines durch die Hand bewegten Pappendeckels jede Abstufung vom dunkelsten bis zum lichtesten Ton geben kann; auch kann man entweder auf Glas gemalte Wolken oder selbst ein negatives Collodiumbild einer Landschaft auflegen, und so einen gezeichneten Hintergrund erhalten.

Platten mit trockenem Collodium sind fast in der Regel unempfindlich; man hat ihnen aber die Empfindlichkeit zu bewahren gesucht durch Beigeben von Kampher, durch Ueberzüge mit Honig, welche Methode besonders nebst der Taupenot'schen in England gäng und gebe ist. Sie hat, wenn ich nicht irre, Shadbolt zu ihrem Erfinder. Er mischt Honig und Wasser zu gleichen Theilen, übergießt die sensibilisirte und wohlgewaschene Platte damit, stellt sie zum staubfreien Trocknen an die Wand, und weicht vor dem Hervorrufen die Honigschichte in einem äußerst verdünnten Silberbade auf.

Schönungsbad, Tonbad. Man versteht darunter eine Behandlungsweise der positiven Bilder mit einer Flüssigkeit während und nach der Fixation,

um den rothbraunen Ton in einen violetten, blauen oder schwarzen zu verwandeln. Der Ton hängt fast immer von dem Fällungssalze des Chlorsilbers ab, oft auch von der Silberlösung selber; so z. B. giebt eine ammoniakalisch präparirte Silbersalzlösung mehr blaue Bilder; man giebt dabei in die salpetersaure Silberlösung so lange Ammoniak, bis sich der gebildete Niederschlag wieder aufgelöst hat. Für gewöhnlich hat man das Tonbad von unterschwefligsaurem Natron, das unmittelbar vor dem Gebrauche mit Goldchloridlösung versetzt wurde. Je concentrirter die Silbersalzlösung bei Bereitung des Positivpapieres ist, je länger bei einem kräftigen Negativ die Lichterposition gedauert, und je mehr Goldsolution man in das Schönungsbad giebt, desto schöner werden die Bilder; natürlich bis zu einer gewissen Grenze. Denselben Zweck, den die Goldsolution erzielt, erreicht man auch durch Hinzufügen von Essigsäure in die Natronlösung, wenn auch in etwas vermindertem Grade, indem das Goldsalz immer einen violetten Stich der schwarzen Farbe erzeugt, der sehr angenehm ist. Durch Zusatz von Säuren wird aus dem unterschwefligsauren Natron allerdings Schwefel gefällt, der in dem Papier sich niederschlägt und später das Bild bleichen kann; man hat ihn durch Weingeist, Schwefelalkohol oder Schwefelkohlenstoff zu entfernen gesucht, ohne daß diese Methode durchgegriffen hätte.

Sensibilisirungsbad. Es soll dieses nach Thomas mit Jodsilber gesättigt sein.

Stereoskopbilder werden auf trockenen Eiweiß- oder trockenen Collodiumplatten durch die negative Matrize als positive Bilder erzeugt.

Tachyphotographie. Man versteht darunter die Kunst, Positive in kürzester Zeit zu erzeugen. Man erzeugt derlei Bilder durch Hervorrufen mit Gallussäure nach kurzer Belichtung. Das Papier wird mit Bromsilber oder Chlorsilber, dem etwas Jodsilber beigemischt ist, behandelt, im Copirrahmen nach Empfindlichkeit des Papieres nur momentan dem Licht exponirt und dann mit Gallussäure entwickelt. Derlei Bilder haben wohl allerdings den Uebelstand, daß sie mehr in der Papiermasse erscheinen als an der Oberfläche, daher man gut geleimtes englisches Papier, oder mit Milchmolken bereitetes dazu nehmen muß. Die Empfindlichkeit hat man durch Säurezusatz so weit in der Gewalt, um sie bis zu jenem Punkte herabzustimmen, der einem nöthig erscheint.

Wachspapierproceß. Dieser zuerst von Legray angegebene Proceß besteht darin, daß man ein Papier mit Wachs durchsichtig macht und dann erst für negative Bilder präparirt. Es bietet dieser Proceß den Vortheil, die Exposition sowohl wie auch die Entwickelung in wenig Tagen vornehmen zu können. Man legt das gewachste Papier in eine Jodirungsflüssigkeit, ähnlich der gewöhnlichen Jodirungsflüssigkeit, nur ist sie mit Reiswasser, Hausenblase oder Milchzucker versetzt. Nach der Sensibilisirung entfernt man alle Silbersalzlösung und hebt das wohlgetrocknete Papier im Dunklen bis zum Gebrauche auf. Die Exposition dauert länger, die Entwickelung wie gewöhnlich.

Zink, salpetersaures, soll die Collodiumschichte längere Zeit hindurch feucht erhalten und so ihre Empfindlichkeit bewahren; noch besser soll dies salpetersaure Magnesia thun. Eben so soll salpetersaures Zink in die Gallussäure gegeben, die Essigsäure ersetzen. Martin.

Photometer, Lichtmesser, nennt man ein Instrument, durch welches die Intensität der verschiedenen Lichtquellen gemessen wird. Die Photometrie, die

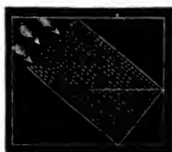
Lehre, welche sich hiermit beschäftigt, gehört mit zu den wichtigsten Zweigen der Optik, denn zu ihr stehen im Grunde alle Aufgaben in Betreff der so mannichfaltigen Erscheinungen der Inflexion, Reflexion, Refraction, Absorption und Polarisation in sehr naher Beziehung. Hieraus erklärt sich die große Theilnahme, welche die Physiker seit längerer Zeit diesem Theile der Optik schenkten, und namentlich in neuerer Zeit war er nach einem langjährigen Stillstande, während welcher Zeit die Optik glänzende und unerwartete Fortschritte gemacht hatte, der Gegenstand mehrseitiger Bemühungen.

Eine genaue Messung der Lichtstärke ist mit sehr großen Schwierigkeiten verbunden, da unser Auge sehr wenig dazu geeignet ist. Es ist hinreichend bekannt, daß dasselbe Licht unter allen Umständen nicht denselben Eindruck auf das Auge macht, weder bei verschiedenen Menschen, noch bei ein und demselben. Kommen wir z. B. aus dem Finstern, so erscheint dem Auge schon ein schwaches Licht hell. Ferner ist das Auge durchaus nicht im Stande, die Differenz oder das Verhältniß zweier verschiedener Helligkeiten zu einander anzugeben; es vermag nur zu entscheiden, ob die Helligkeiten gleich sind oder nicht. Da die Entscheidung des Auges nur eine zuverlässige zu sein scheint, wenn die Lichtstärke zweier gleichzeitig leuchtender Körper eine gleiche ist, so muß man, sobald die verschiedene Lichtstärke zweier ungleich stark leuchtender Körper bestimmt werden soll, zunächst eine Gleichheit beider Lichtquellen herstellen. Man erreicht dies auf leichte Weise dadurch, daß man die eine Lichtquelle, und zwar die scheinbar stärkere, so weit entfernt, bis das Licht beider ein gleiches zu sein scheint. Schon das alltägliche Leben lehrt uns, daß mit der Entfernung der Lichtquelle die Stärke des Lichtes abnimmt; darum rücken wir uns des Abends, wenn wir gezwungen sind bei künstlicher Beleuchtung zu arbeiten, das Licht oder die Lampe möglichst nahe. Das Gesetz, nach welchem die Abnahme der Lichtstärke bei der Entfernung stattfindet, ist von der Wissenschaft ermittelt worden und lautet: die Intensität der Beleuchtung steht im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung von der Lichtquelle. Hat man also bei einem Vergleiche zweier Lichtquellen ein gleiches Licht dadurch hergestellt, daß man den einen leuchtenden Körper 2 Fuß von dem anderen entfernt hat, so sendet er 4 Mal mehr Licht als dieser. Die Strahlen, welche der leuchtende Körper aussendet, gehen nämlich bei der Entfernung auseinander und zwar der Art, daß die Fläche, welche von derselben Lichtmenge beleuchtet wird, eine doppelt so große ist, wie die Entfernung. Ein einfacher Versuch giebt hierüber Aufschluß. Stellen wir ein Stück weißes Papier von einem Zoll Länge und Breite einen Zoll von einer kleinen Lichtflamme entfernt lothrecht auf und wiederum in gleicher Entfernung von diesem, also in einem doppelten Abstande von der Lichtquelle, ein größeres Stück weißes Papier, so ist auf diesem der Schatten größer als die einen Quadratzoll große schattenwerfende Fläche. Mißt man nun diesen Schatten, so beträgt seine Länge und Breite je zwei Zoll; die Fläche ist also doppelt so groß, wie die Entfernung von der Lichtquelle. Daraus folgt, daß dieselbe Lichtmenge, die in einfacher Entfernung auf eine Fläche von einem Quadratzoll fällt, sich in einer doppelten Entfernung über eine viermal so große Fläche verbreitet. Da aber die Lichtmenge dieselbe bleibt, so wird jedem einzelnen Quadratzoll nur der vierte Theil der Lichtmenge zu Theil werden; er wird also bei einer Entfernung von zwei Zoll nur $^1/_4$ so stark erhellt sein, wie bei einem Abstande von einem Zoll.

Bei diesen Versuchen hat man darauf zu achten, daß der auf das Auge

hervorgebrachte Lichteindruck nicht zu stark sei, denn sonst wird das Sehorgan geblendet und ermüdet, so daß also die Messung ein unrichtiges Resultat liefern würde. Um dieses zu vermeiden, setzt man zwischen das Licht und das Auge einen durchsichtigen Schirm. Dieser ist besonders dann unumgänglich nothwendig, wenn es sich darum handelt, die mittlere Intensität oder das Leuchtvermögen einer Lichtquelle zu messen, welche keinen gleichförmigen Glanz besitzt. Ferner hat man zu beachten, daß die Lichtstärke nicht allein von der Entfernung der Lichtquelle abhängt, sondern auch von der Richtung, in der die Lichtstrahlen auf den zu beleuchtenden Körper, der bei diesen Versuchen zum vergleichenden Anhaltspunkt dient, fallen. Je schräger die Lichtstrahlen auf diesen fallen, um so schwächer wird die Beleuchtung sein. Beistehende Fig. I. zeigt uns eine Fläche, die in zwei verschiedenen Stellungen von den Lichtstrahlen getroffen wird. Bei einer Stellung fallen die Strahlen rechtwinkelig auf und bei der anderen in einer schrägen Richtung, so daß hier ein großer Theil der Strahlen vorbei geht, welche dort die Fläche beleuchten. Durch ein einfaches Experiment kann sich jeder von dieser Thatsache überzeugen. Man halte zunächst vor einem von der Sonne beschienenen Stück Papier ein kleineres Blättchen und zwar so, daß die Sonnenstrahlen rechtwinkelig auf beide Flächen fallen. Giebt man nun nach und nach dem schattenwerfenden Papierstück eine immer schrägere Stellung, so gehen immer mehr Lichtstrahlen daran vorbei und der Schatten wird immer kleiner.

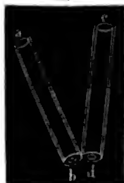
I.



Eine weitere sehr bedeutende Schwierigkeit bei der vergleichenden Messung verschiedener Lichtstärken ist die verschiedene Farbe des Lichtes. Eine solche findet mehr oder weniger fast stets bei zwei verschiedenen Lichtquellen statt und dadurch wird das Resultat der Messung ein ungenaues. Bei diesen Messungen muß das Licht beider leuchtender Körper gleichartig sein, durch die Farbenverschiedenheit aber tritt eine Ungleichheit ein, die durch das Maß nicht bestimmt werden kann. Das Licht, welches zur Einheit des Maßes dient, muß außerdem von einer bestimmten und genau bekannten, sich stets gleichbleibenden Größe sein; ein Licht, welches als Maß für jedes andere dienen könnte, existirt kaum.

Bei diesen Messungen sind entweder die verschiedenen Lichtquellen gleichzeitig sichtbar oder nach einander; der erstere Fall ist der einfachste; hier findet eine directe Messung statt. Im letzteren Falle muß man dagegen noch ein drittes Licht zur Hülfe nehmen; dieses muß aber der Art sein, daß die Lichtstärke stets dieselbe ist und daß es zu gehöriger Zeit mit dem Lichte der einen oder der anderen Quelle verglichen werden kann.

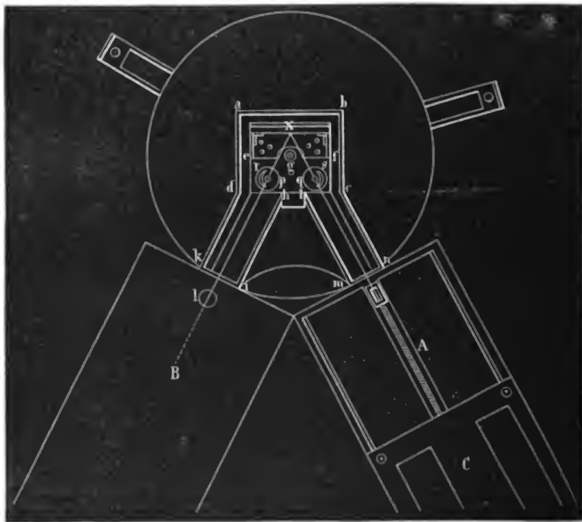
II.



Im Laufe der Zeit ist eine große Zahl von Vorrichtungen angegeben worden, deren man sich bei diesen Versuchen bedient. Zu den ältesten Photometern gehört das von **Bouguer** 1760 angegebene. Zwei Röhren (s. Fig. II.) ab und cd sind inwendig geschwärzt; bei a und c sind sie durch Glaslinsen verschlossen, die eine gleiche Brennweite haben. An dem anderen Ende, bei b und d sind die Röhren durch einen Deckel verschlossen, worin sich ein kreisrundes Loch von 3 bis 4 Linien Durchmesser befindet, das mit feinem

weißem Papier, matt geschliffenem Glase oder irgend einem anderen Körper mit matter Oberfläche und starkem Zurückwerfungsvermögen bedeckt ist. Bei dem letzteren Ende sind beide Röhren mit einander vereint, so daß man jede davon gegen eine besondere Lichtquelle richten kann, damit das deutliche Bild davon auf die weiße Fläche bei b und d falle. Man entfernt die stärkere der beiden Lichtquellen, bis beide Scheiben gleich erhellt erscheinen. Während dessen beobachtet man mit verhülltem Kopfe, der Ausschließung alles fremden Lichtes halber, die beiden Scheiben zugleich. Scheinen sie gleich hell beleuchtet, so verhalten sich die Stärken beider Lichtquellen wie die Quadrate ihrer Abstände von jeder Scheibe.

Rumford's Verfahren, die Stärke verschiedener Lichtquellen zu messen, gründet sich auf die Gleichheit der Schatten, welche zwei undurchsichtige, gleiche, zwischen die beiden Lichter gestellte Körper auf ein Blatt weißen Papiers werfen. Da Rumford's Photometer auch jetzt mitunter zur Anwendung kommt, so wollen wir die Einrichtung desselben näher beschreiben. In einem hölzernen Gehäuse (s. beistehende Figur) a b c d — $7^1/_4$ Zoll breit, $10^1/_2$ Z. lang und $3^1/_4$ Z. im Lichten hoch — ist die innere Fläche allenthalben schwarz angestrichen, mit Aus-



nahme der hinteren Wand, an der sich in einer Falze eine $5^1/_2$ Zoll breite und $3^1/_4$ Zoll hohe geschliffene Glasscheibe befindet. Auf diese ist weißes Papier geklebt, welches Rumford das Feld nennt. Unmittelbar vor die überzogene Glastafel stellt man einen Schirm von schwarzer Pappe, der durch Falze in den Seitenwänden des Gehäuses festgehalten wird. In dem Schirm befindet sich ein kreis-

förmiges Loch von 1,6 Zoll Durchmesser. Das Gehäuse ist auf einem Stativ befestigt und oben durch einen beweglichen Deckel verschlossen. Die Vorderseite ist gleichfalls verschlossen; hier sind zwei horizontale Röhren d h i k und l m n c angebracht, deren Axen unter einem Winkel von 60° so stehen, daß die Verlängerungen derselben sich in dem Mittelpunkte x des Feldes schneiden. Zwischen den beiden Röhren ist in der Vorwand des Gehäuses eine Oeffnung angebracht, durch welche man das Feld beobachten kann. 2,2 Zoll vor dem Felde stehen auf dem Boden des Gehäuses zwei schwarz angestrichene Cylinder p und q senkrecht und zwar parallel mit der Hinterwand 3 Zoll von einander entfernt. Jeder Cylinder hat einen Durchmesser von 0,4 Zoll und eine Höhe von 2,2 Zoll. Beide Cylinder werfen 4 Schatten auf das weiße Feld, wovon 2 sich genau in der Mitte des Feldes, die durch einen schwarzen Strich markirt ist, berühren; auf diese allein hat man Rücksicht zu nehmen. Die senkrechte schwarze Linie wird in der Höhe der Cylinder von einer horizontalen rechtwinklig durchschnitten; berühren die oberen Grenzen der Schatten die horizontale Linie, so stehen die Lichtquellen in der gehörigen Höhe.

Die beiden Cylinder sind um ihre Axe beweglich und jeder ist mit einem Flügel r und s von $^{11}/_{20}$ Zoll Breite und $^{1}/_{16}$ Zoll Dicke in seiner ganzen Höhe versehen. Die Gleichheit der Schatten läßt sich leichter beurtheilen, wenn beide einen gleichen Durchmesser haben. Ist es daher nöthig, den Durchmesser des einen zu vergrößern, so dreht man den entsprechenden Cylinder so lange nach außen, bis der Flügel aus der Axe des Schattens heraustritt und dadurch den Schatten vergrößert. — Um den Abstand der Lichtquellen mit Leichtigkeit genau reguliren zu können, sind mit dem Gestelle, welches das Photometer trägt, zwei lange und schmale Tische A und B verbunden, in deren Mitte ein gerader Falz läuft, worin ein beweglicher Schieber C, auf welchem das Licht steht, durch eine Schnur gezogen wird. Diese geht über Rollen und dann um einen mit einer Kurbel versehenen Cylinder, der sich dem Beobachter so nahe befindet, daß er denselben drehen, also den Abstand der Lichtquellen beliebig reguliren kann, ohne das Auge vom Gesichtsfelde abzuwenden.

Die Tische sind 10 Zoll breit und 35 Zoll hoch; der eine 12 und der andere 20 Fuß lang. Sie sind unter einem Winkel von 60° gegen einander und so gegen das Photometer gestellt, daß Linien längs ihrer Mitte gezogen bei einer Verlängerung sich genau in einem Punkte in der Mitte des Feldes durchschneiden. Von diesem Punkte an werden die Entfernungen der Lichtquellen gemessen. Die Tische sind an der Seite in Zolle getheilt und ein Vernier, welcher Zehntelzolle angiebt, ist an jedem Schieber angebracht. Durch die Schieber lassen sich die Lichtquellen beliebig hoch oder niedrig stellen, so daß man sie leicht in eine horizontale Ebene mit den oberen Grundflächen der Cylinder bringen kann. Damit die Bewegung der Schieber eine sehr sanfte, die Intensität der Lichtquellen nicht beeinträchtigende sei, gleiten sie auf gut polirten, parallelen Messingdrähten, die 9 Zoll von einander abstehen und $^{1}/_{10}$ Zoll dick sind.

Späterhin hat Rumford, der sich viel mit photometrischen Untersuchungen beschäftigt hat, ein einfacheres Instrument construirt *). In der Mitte der oberen

*) Gilbert's Ann. Bd. XLV. S. 349, Bd. XLVI. S. 230.

Fläche eines hölzernen Würfels von 8 Zoll Seite, der mit schwarzem Papier überzogen ist, befindet sich ein senkrecht stehendes Brettchen von 4 Zoll Breite, 6 Zoll Höhe und $^{1}/_{2}$ Zoll Dicke, welches auf der einen Seite mit weißem Papier bedeckt ist. Auf dem Feld ist, wie bei dem vorhin beschriebenen Photometer, genau in der Mitte eine senkrechte und eine diese im rechten Winkel durchschneidende horizontale schwarze Linie gezogen. Vor dem Felde, in einer Entfernung von 2,4 Zoll, stehen wie dort die beiden schwarzen Stäbchen von 4 Zoll Höhe und $^{1}/_{2}$ Zoll Durchmesser. Sie sind 3,2 Zoll von einander und 3 Zoll von der schwarzen Verticallinie des Feldes entfernt.

Dieses kleine Werkzeug wird auf folgende Art angewendet: Nachdem man in einem finstern Zimmer drei kleine Tische 7 bis 8 Fuß von einander so gestellt hat, daß sie die drei Scheitel eines gleichseitigen Dreiecks einnehmen, wird das Photometer auf den einen und die zu untersuchenden Lichtquellen auf die beiden anderen Tische gestellt, wobei man dafür sorgt, daß die Flammen sich mit der Mitte des weißen Feldes genau in einer horizontalen Ebene befinden. Der Beobachter setzt sich vor das Photometer, den Lichtquellen den Rücken zukehrend; das Instrument ist so gerichtet, daß die Strahlen der beiden Flammen unter einem gleichen Winkel auf das Feld fallen, und daß die beiden inneren Schatten der Stäbe sich bei der schwarzen Verticalebene berühren, ohne sich mit einander zu vermischen. Die beiden äußeren Schatten der Stäbe fallen dann außerhalb des Feldes und werden daher nicht gesehen.

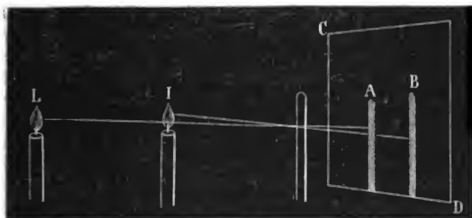
Um die Entfernung der einen Lichtquelle leichter reguliren zu können, gebrauchte Rumford statt der Tische zwei 12 Fuß lange, mit dem Photometer verbundene Lineale, auf welchen er den Scalen zuletzt eine solche Einrichtung gab, daß er von ihnen unmittelbar und ohne Rechnung die relativen Intensitäten der beiden Lichter ablesen konnte. Sie wurden nämlich in gleiche Theile getheilt; der erste Theilstrich steht 10 Zoll weit von der Mitte des Feldes ab und wird mit 10 bezeichnet. Bei den übrigen Theilstrichen kommen Zahlen zu stehen, welche sich wie die Quadrate des Abstandes des Theilstriches von jener Mitte verhalten. Hat man die eine Lichtquelle so lange verrückt, bis beide Schatten vollkommen gleich erscheinen, so geben die Zahlen an der Scale unmittelbar und ohne Rechnung das Verhältniß der Lichtmengen an, welche die Flammen aussenden.

Um bei dem Gebrauch dieses Photometers das Licht abzuhalten, welches von den Wänden des Zimmers und anderer umgebenden Körper reflectirt wird und um die Schatten begrenzter und zur Vergleichung geschickter zu machen, stellt man das Photometer in einen viereckigen, an der Vorderseite offenen Kasten, der 16 Zoll hoch und 12 Zoll tief und breit und innerhalb und auswendig mit schwarzem Papier überzogen ist.

Rumford giebt folgende aus der Erfahrung genommene Vorsichtsmaßregeln beim Gebrauche seines Photometers an. 1) Wenn das schwächere Licht von zwei Lichtquellen, deren Intensität verglichen werden soll, fast so stark ist, als das einer gewöhnlichen Wachskerze, so ist es am vortheilhaftesten, dasselbe 30 bis 36 Zoll vom Mittelpunkte des Feldes entfernt zu stellen und so verhältnißmäßig näher oder ferner, je nachdem es schwächer oder stärker ist. Denn sind die Lichter zu nahe, so sind die Schatten nicht gut begrenzt, und wenn jene zu fern sind, so sind diese zu schwach. 2) Ist es zur Erleichterung der Rechnung vortheilhaft, ein Licht von einem gewissen Grade der Stärke als ein Maß anzunehmen, womit alle

anderen verglichen werden können. Hierzu hat Rumford eine Argand'sche Lampe gewählt, welche eine beträchtliche Zeit lang das Licht weit gleichförmiger ausströmt, als irgend eine andere Lampe und noch mehr als irgend eine Kerze. Diese stellt er vom Mittelpunkt des Feldes 100 Zoll ab, nimmt alsdann eine Wachskerze von bekanntem Gewicht und Stärke, welches angezündet, geputzt und dahin gebracht ist, daß es mit der größtmöglichen Helligkeit brennt, stellt es jener in einer gewissen gegebenen Entfernung (33 Zoll) gegenüber und zieht hiernächst den Docht der Lampe mehr hinein oder heraus, je nachdem es nöthig ist, bis die Schatten der Kerze und der Lampe genau von einerlei Dichtigkeit sind. Alsdann wird die Wachskerze zum ferneren Gebrauch aufgehoben. Dieses Wachslicht und die Argand'sche Lampe nennt Rumford Probelichter. — Wenn die beiden Lichter, welche man untersuchen will, dieselbe Farbe haben, so kann man bei geringer Gewandtheit die Gleichheit der Schatten ziemlich genau bestimmen, und wenn überdies der Versuch von zwei Personen nach einander oder mehrfach angestellt wird, so erhält man Resultate, deren mittlere Zahl ohne besonders auffallende Fehler dem gesuchten Werthe entspricht.

Nach dem von Rumford angegebenen Princip kann man ganz einfach vor einer weißen Wand CD (s. beistehende Figur) ein undurchsichtiges Stäbchen, etwas dicker als ein Bleistift, aufstellen; befindet sich nun ein Licht in l und ein anderes in L, so werden auf der Wand zwei Schatten des Stäbchens entstehen, der eine



in A und der andere in B. Derjenige Theil der Wand, auf welchem sich kein Schatten befindet, ist von beiden Lichtern beschienen, der Schatten A ist nur durch das Licht L, B nur durch l beleuchtet. Sind beide Lichtquellen ungleich, so ist die stärkere so weit zu entfernen, bis beide Schatten gleich erscheinen. Hiernach bedarf man also keines besonderen Apparates, um photometrische Messungen anzustellen, denn ein Stäbchen ist leicht beschafft und eine weiße Wand findet sich überall. Auf diese Art aber erhält man keine genauen Resultate, da das Auge gerade durch die von beiden Lichtern erhellte weiße Wand für geringere Unterschiede weniger empfindlich wird, so daß erst eine größere Aenderung in der Stellung eines Lichtes von dem Beobachter gemerkt wird. Für viele Zwecke aber, wo eben nur annähernde Resultate genügen, reicht diese Art der Bestimmung aus; die Leichtigkeit, mit der sie sich anstellen lassen, macht die Ungenauigkeit der Resultate verschmerzen.

Leslie hat sein Differentialthermometer (Bd. II. S. 503) in der

in beistehender Figur abgebildeten Gestalt auch als Photometer angewendet *). Die obere Kugel muß hier aus schwarzem Glase geblasen oder schwarz gefärbt werden, und die untere ganz durchscheinend und frei von Flecken und Bläschen sein. Die erstere verschluckt das auffallende Licht, während die letztere es ungehindert durchgehen läßt. Das Licht bringt aber nach dem Verhältniß seiner Absorption Wärme hervor. Obgleich die schwarze Kugel beständig neue Wärme zugeführt erhält, so wird doch ihre Temperatur nicht gleichförmig und beständig erhöht werden, weil endlich die umgebende Luft die Wärme genau in dem Maße fortleitet, wie sie sich anhäuft. Daher wird das Fallen der Flüssigkeit in der Röhre den momentanen Zufluß des Lichtes messen. Um die unregelmäßigen Einwirkungen der Winde, die das Zerstreuen der Wärme beschleunigen könnten, zu hindern, wird das Instrument in ein cylindrisches, wohl abgerundetes, recht helles hermetisch geschlossenes Glasgehäuse eingeschlossen, welches zugleich den Nutzen hat, durch Hemmung der Circulation in der umgebenden Luft die Wirkung des Instruments zu verdoppeln. Die Weite dieses Glascylinders ist ziemlich gleichgiltig, nur muß er um die Kugel herum wenigstens 0,1 Zoll und oberhalb wenigstens 0,5 Zoll vom Photometer abstehen. Die Größe und Gestalt desselben sind von so wenig Einfluß, daß Leslie in einem Recipienten von 2200 Zoll kaum um 0,1 weniger Wärme als in einem Recipienten von der vorhin angegebenen Größe erhielt.



Ein solches Photometer verfertigte Leslie zuerst im Herbste 1797 und erklärte er sich mit der Empfindlichkeit des Instrumentes außerordentlich zufrieden. Es mißt nicht nur die directen Strahlen der Sonne, sondern auch das reflectirte Licht des Himmels und für dieses bestimmte es Leslie hauptsächlich. Es ist für jede Veränderung in der Atmosphäre empfindlich, und zeigt die Zunahme und Abnahme des Tageslichtes und die periodische Vermehrung und Verminderung in der Lichtstärke nach der Jahreszeit. Es setzt uns ebenfalls in den Stand, andere Lichtarten, z. B. die der Flammen, zu schätzen. Durch Vergleichung zweier Photometer ist es leicht, das Verhältniß zu bestimmen, in welchem zwei verschieden gefärbte Stoffe das Licht reflectiren, absorbiren und durchgehen lassen. Ferner mißt dieses Photometer die Lichtmenge, welche verschiedene durchsichtige Körper hindurchlassen, oder welche von polirten oder rauhen Oberflächen, bei verschiedenen Einfallswinkeln, reflectirt und absorbirt wird.

Die außerordentliche Empfindlichkeit dieses Photometers wird von Boukmann bestätigt **). Nach ihm zeigt es die Unterschiede in der Intensität des Sonnenlichtes bei dunkelblauem und blaßblauem Himmel, die durch Wolken hervorgebrachte stärkere oder schwächere Beleuchtung rc. vortrefflich an. Durch die Flamme einer gewöhnlichen Kerze wird es schon in der Entfernung von 1 Fuß afficirt. Ueber die Versuche, welche Leslie mit seinem Photometer angestellt hat, findet man Näheres in Gilbert's Annalen Bd. X. S. 88. Ritchie hat diesem Photometer eine veränderte Einrichtung gegeben ***).

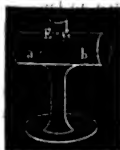
---

*) Gilbert's Ann. Bd. V. S. 233.
**) Gilbert's Ann. Bd. X. S. 369.
***) Schweigger's Journ. Bd. XLVI. S. 122.

Traill hat den vergleichenden Gang eines Leslie'schen Photometers und eines Fahrenheit'schen Thermometers während der Sonnenfinsterniß am 15. Mai 1836 zu Edinburgh beobachtet und die Resultate in folgender Tabelle zusammengestellt, in der wir aber die Grade nach Fahrenheit in solche nach Celsius verwandelt haben.

Zeit	Photometer	Thermometer	Zeit	Photometer	Thermometer	Zeit	Photometer	Thermometer
1^h 30′	80°	18°,33	2^h 40′	38°	16°,11	3^h 50′	58°	14°,72
40	79	18,33	50	27	15,56	4^h 0	66	15,28
50	77	18,33	3^h 0	14	14,72	10	73	15,83
2^h 0	73	18,33	10	21	14,44	20	72	15,56
10	69	17,78	20	27	14,44	30	68	15,56
20	56	16,67	30	38	14,44			
30	45	16,67	40	50	14,72			

Ritchie *) hat noch ein anderes Photometer construirt, das ziemlich genau zu sein scheint und noch vielfach im Gebrauch ist. Es besteht aus einem Kasten (s. beistehende Figur), der auf beiden Seiten offen und inwendig geschwärzt ist und in dem sich zwei platte, auf einander rechtwinklig stehende und gegen die obere Wand des Kastens in einem Winkel von 45° geneigte ebene Papierflächen a und b befinden, welchen gegenüber eine Oeffnung E G angebracht ist. Bei dem Gebrauche stellt man jede der zwei zu vergleichenden Lichtquellen einer der beiden Papierflächen gegenüber, so daß letztere durch erstere beleuchtet werden, und ändert die Entfernung so lange ab, bis beide Lichtquellen den Papierflächen eine gleiche Beleuchtung zu Theil werden lassen. In diesem Falle verhält sich der Glanz der Lichtquellen wie die Quadrate ihrer Entfernungen von den beleuchteten Flächen. Mittelst dieses Instrumentes kann man besonders dann eine große Genauigkeit erreichen, wenn man zur genauen Bestimmung der gleichen Beleuchtung der zwei Papierflächen an der Oeffnung E G eine Convexlinse anbringt und durch sie auf jene Fläche hinsieht.



Der Kasten steht auf einem beweglichen Stativ und kann daher leicht in gleiche Höhe mit den Flammen gebracht werden. Die beiden Lichtquellen entfernt man 20 bis 30 Fuß von einander und stellt den Photometer in die gerade Linie zwischen beiden. Man rückt ihn so lange, bis beide Flächen gleich stark beleuchtet sind. Man muß sich dabei hüten, nach den beiden Lichtquellen zu sehen, wenigstens verzögert dieses die Beobachtung, indem das Auge wieder einiger Ruhe bedarf, um die gehörige Empfindlichkeit für schwache Lichtdifferenzen zu erlangen. Beobachtet man diese Vorsicht, so wird man die richtige Stellung des Photometers bis auf 4 bis 5 Zolle genau ausmitteln. Am schwierigsten ist dieses, wenn die beiden Lichtquellen nicht einerlei Farbe haben, wenn z. B. das Licht einer mit recht

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 334.

weißer Flamme brennenden Lampe mit dem einer Kerze verglichen werden soll, welches stets etwas gelblicht oder röthlicht ist.

Hat man mehrere Lichtquellen mit einander zu vergleichen, so wird die Arbeit bedeutend gefördert, daß man eine gut brennende, stets ein gleiches Licht gebende Lampe in unveränderter Entfernung als Vergleichungspunkt nimmt und durch einen Gehülfen die Stellung der anderen Lichtquellen ändern läßt, bis die Beleuchtung beider Flächen gleich ist. Hierzu eignet sich am besten eine Uhrlampe, die jetzt ziemlich verbreitet sind, oder in deren Ermangelung eine Schiebelampe.

Potter hat noch eine andere Vorrichtung angegeben. Ein horizontaler Tisch ist durch eine verticale, der Länge nach senkrecht auf der Tischplatte stehende, undurchsichtige Papierplatte in zwei Theile getheilt und an einem Ende des Tisches steht, senkrecht sowohl auf dem Tische als auf der verticalen Platte, eine andere undurchsichtige Wand, die aber in der Mitte ein viereckiges, 2,5 Zoll hohes und 4 Zoll langes Loch hat, das mit feinem Papier überdeckt ist. Stellt man in jede der zwei Abtheilungen des Tisches eine Lichtquelle, so beleuchtet jede eine Hälfte des Papiers in der viereckigen Oeffnung und man sieht hinter dem Papiere diese beiden Hälften durch den Schatten der Scheidewand von einander getrennt, kann aber leicht durch Annähern oder Entfernen der einen oder anderen Lichtquelle die Beleuchtung beider Hälften auf gleiche scheinbare Stärke bringen.

Wollaston hat noch eine andere Vorrichtung zu photometrischen Beobachtungen angewendet *). Will man z. B. das Licht einer Kerze mit dem Sonnenlichte vergleichen, so lasse man das Licht der Sonne auf eine mit Quecksilber gefüllte Thermometerkugel, die etwa einen Viertel Zoll im Durchmesser hat, fallen und sehe nach dem durch Reflexion entstandenen Bilde durch ein Fernrohr mit einem Auge, nach der Flamme der Kerze dagegen durch eine Linse von etwa 2 Zoll Brennweite mit dem anderen Auge, ändere endlich die Entfernungen so lange ab, bis beide Bilder gleich hell erscheinen, und berechne dann aus dem Halbmesser der Kugel und den obwaltenden Entfernungen das Verhältniß der Lichtstärke.

Wollaston beabsichtigte nämlich, den Glanz verschiedener Sterne mit dem der Sonne zu vergleichen. Er suchte also bei Tage den Eindruck des Bildes der Lichtflamme dem des Sonnenbildes gleich zu machen und verglich dann am Abend die Lichtflamme mit dem direct gesehenen Sterne. Die Berechnung stellte er in folgender Weise an. Befindet sich die Kugel vom Durchmesser $= B$ in der Entfernung $= D$ vom Auge, so drückt $\frac{1/_4\, B}{D}$ verhältnißmäßig den scheinbaren Durchmesser des Sonnenbildes aus und der gesammte Eindruck des reflectirten Lichtes ist der Größe $\left(\frac{B}{4\, D}\right)^2$ proportional, wenn man den scheinbaren Durchmesser der Sonne immer als gleich annimmt. Bringt man nun die Lichtflamme in verschiedene Entfernungen $= d$, bedient sich aber immer derselben Kugel und läßt das Auge dieselbe Stellung einnehmen, so verhält sich der gesammte Glanz des Bildes der Flamme wie $\frac{1}{d^2}$. Gesetzt also das Sonnenbild sei gleich dem Bilde der in

*) Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 328.

der Entfernung = d aufgestellten Flamme, der Stern gleich dem Bilde der in der Entfernung = d' aufgestellten Flamme, so ist das Licht des Sternes $= \frac{B^2 d^2}{16 D^2 d'^2}$, wenn das Licht der Sonne = 1 ist. Nach einigen Versuchen nahm Wollaston an, das Licht des Sirius gleiche einem Sonnenbilde in einer Kugel von 0,1 Zoll Durchmesser gespiegelt und in 210 Fuß Entfernung gesehen. Darnach wäre das Licht des Sirius $= \frac{0{,}01}{16 \,.\, 2520^2} = \frac{1}{10160000000}$ (weil 210 Fuß = 2520 Zoll) oder wenn man annimmt, daß das Licht die Hälfte seiner Intensität, in Folge der Reflexion auf der Kugel, verliert, so ist das Licht des Sirius so schwach, daß 20,000 Millionen Sterne wie Sirius erst die Sonne ersetzen könnten. Die Sonne würde zu einer 140000maligen Entfernung hinausrücken müssen, um so lichtschwach zu erscheinen, während der Sirius, der 525,481 Mal entfernter von der Erde als die Sonne ist, wenn man ihm die Entfernung der Sonne geben könnte, einen scheinbaren Durchmesser 3,7 Mal größer als der der Sonne besitzen und uns eben so viel Licht als 13,8 Sonnen liefern würde. Das Licht der Vega in der Lyra wurde auf gleiche Weise gleich $^1/_9$ von dem des Sirius gefunden.

Als Mittel aus zwölf Versuchen ergab sich ferner, daß das Sonnenlicht so stark sei, wie das von 5563 Kerzenflammen, welches aus 1 Fuß Entfernung in unser Auge gelangt. Als Wollaston das Licht des Vollmondes mit dem einer Kerze verglich, so fand er, daß es $\frac{1}{144}$ Mal schwächer war als das letztere, das in eine Entfernung von 12 Fuß gestellt wurde. Demnach ist das Sonnenlicht im Vergleiche mit dem des Mondes $= 5563 \left(\frac{144}{12}\right)^2$ oder = 801072, wenn das des Mondes = 1 ist. Bei einer 895maligen Entfernung würde also die Sonne der Erde so viel Licht zusenden, wie jetzt der Vollmond. — Nach einer anderen Beobachtungsmethode fand Bouguer, daß das Sonnenlicht gleich sei dem von 5774 Wachskerzen bei einem Fuß Entfernung; ein Resultat, das mit dem von Wollaston gefundenen ziemlich übereinstimmt. Dem Licht des Mondes legt Bouguer indessen einen viel größeren Werth bei; nämlich $\frac{1}{300000}$ von dem der Sonne. (Vergl. Bd. IV. S. 481.) Nach Foucault und Fizeau verhält sich die Stärke des durch Knallgas erzeugten, sogenannten Drummond'schen Lichtes zum Sonnenlichte wie 1 : 146.

Lampadius mißt die Lichtstärke nach der Dicke der Körper, welche das zu prüfende Licht nicht mehr in einer vom Auge bemerkbaren Quantität hindurchlassen. Sein Photometer *) besteht in einem Cylinder von Pappe oder Holz, 2 Zoll im Durchmesser und 1 Fuß Länge. In diesem bewegt sich, wie in Perspectiven, ein zweiter Cylinder auf und nieder. Das äußere vom Auge entferntere Ende des inneren Cylinders ist mit einer weißen Glasscheibe belegt. Auf diese werden, wenn man das Licht der Sonne oder Licht eines chemischen Processes

*) Schweigger's Journ. Bd. X. S. 124; Bd. XI. S. 361.

beobachten will, Scheiben von mäßig getrübtem Beinglase oder von Horn, wie es zu Nachtlaternen gebraucht wird und das in einem schwachen Grade durchscheinend ist, gelegt, bis das Licht bis auf den letzten Schimmer gedeckt ist. Je mehr solche Scheiben zur völligen Deckung des Lichtes gebraucht werden, um so stärker ist der Grad des Lichtes, wobei die Zahl der Grade durch die Zahl der zur Deckung gebrauchten Scheiben angegeben wird.

Bei dieser ersten Einrichtung des Werkzeuges war noch die genaue Bestimmung der Grade der Lichtmessung etwas schwankend. Um also dies Photometer mit anderen correspondirend zu machen, gab Lampadius demselben folgende Einrichtung: er richtete 8 bis 10 weiße mit Sauerstoffgas gefüllte Glasflaschen ein und verbrannte nach und nach in jeder Flasche Sauerstoffgas einige Gran Phosphor. Diese Verbrennung geschah jedesmal auf einem genau bezeichneten Platze des Experimentirtisches. In der Entfernung von 2 Fuß wurde nun das Photometer aufgestellt und so lange Beinglas- oder Hornscheiben eingelegt, bis das Licht des im Sauerstoffgase brennenden Phosphors nicht mehr erkannt wurde. Die hier gebrauchten Scheiben wurden nun nicht mehr gezählt, sondern durch ein Meßinstrument wurde die Länge des aus Scheiben zusammengesetzten Cylinders genau gemessen und in 100 Grade abgetheilt, so daß also 100 der höchste Lichtpunkt ist und die Finsterniß den Nullpunkt für dieses Instrument abgiebt. Für diese letztere Einrichtung war es also nicht mehr nöthig, Scheiben von gleicher Dicke zu nehmen, auch kann der eine zu diesem Instrument etwas dunkleres, ein anderer etwas lichteres Beinglas oder Horn wählen, wenn nur sämmtliche Scheiben von einerlei durchschimmernder Masse sind und der äußerste Lichtpunkt nach dem Verbrennen des Phosphors genommen und nun der Zwischenraum in 100 gleiche Theile getheilt wird.

Gebrauchte Lampadius Scheiben von Beinglas, so legte er jedesmal 10 Stück auf einander und verband sie an den Außenseiten mit schwarzem Siegellack. Dadurch wurden kleine Cylinder mit einem schwarzen Ueberzuge gebildet, wodurch auch zugleich der Vortheil entstand, daß durch die Außenseite der Cylinder auch nicht das geringste von fremdem Lichte eindringen konnte. Neben diesen Cylinderstücken ließ er nun noch zur Angabe der einzelnen zwischen die zehnscheibigen Cylinder fallenden Grade 25 Scheiben von der Dünne, daß der aus ihnen zusammengesetzte Cylinder dieselbe Länge als einer von 10 Scheiben hatte, unverbunden. Nun bestimmte er den höchsten Lichtpunkt ebenfalls durch Verbrennung von Phosphor. Zur Deckung des Phosphorlichtes gebrauchte er 3 Cylinder und 24 einzelne Scheiben, worauf die Länge des ganzen Cylinders in 100 gleiche Theile getheilt wurde. Die Beobachtungen, welche Lampadius mit dem Beinglas-Photometer und dem Horn-Photometer zu gleicher Zeit anstellte, zeigten, daß beide Instrumente sehr correspondirend waren.

Zu den einfachsten photometrischen Apparaten gehört derjenige, dessen sich der Graf de Maistre in Petersburg bediente *), um die Helligkeit der Himmelskörper mit einander zu vergleichen. Er besteht, wie umstehende Fig. I. zeigt, aus zwei Prismen, einem von weißem und einem, das in der Abbildung schattirt ist, von blauem Glase. Die Basis ihres Querschnitts, ca beim weißen, mißt etwa 8 Linien in der Dicke und ihr scharfer Winkel, b beim weißen und c beim blauen,

*) Biblioth. univers. T. LI. p. 323. Pogg. Ann. Bd. XXIX. S. 187.

beträgt ungefähr 11 Grad. Sie sind so auf einander gelegt, daß sie ein Parallelepipedum bilden, damit man beim Hindurchsehen die Gegenstände, nicht durch die Brechung verrückt, an ihrer wahren Stelle erblicke.

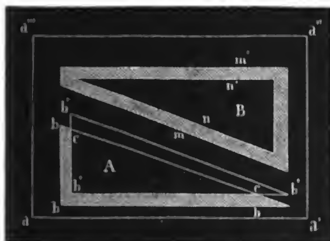
I.



Beim Gebrauche bringt man den dünnsten Theil b t des weißen Prismas vor das Objectiv eines Fernrohrs und verschiebt das blaue Prisma so lange, bis man eine Dicke findet, durch welche das Bild des hellsten der zu vergleichenden Körper dem des minder hellen und direct betrachteten gleich wird. Eine Scale nebst Mikrometerbewegung giebt den Punkt, wo diese Gleichheit stattfindet. Der Uebelstand bei diesem Instrument ist nur, daß es unmöglich ist, unter allen Umständen ein Glas von gleicher Stärke und Nüance der Färbung zu erhalten. Daher wird man nicht correspondirende Instrumente der Art herzustellen vermögen.

Derselbe Uebelstand waltete bei einem ähnlichen Instrumente ob, dessen sich Quetelet anfangs bediente *). Beide Prismen bestanden hier aus gefärbtem Glase von gleicher Beschaffenheit. Deshalb gab er es wieder auf und erdachte ein anderes. Dieses beruht auf der Schwächung, welche das Licht durch wiederholte Reflexionen erleidet. Es besteht, wie beistehende Fig. II. zeigt, aus zwei Theilen. Der eine A dient für eine gerade, der andere B für eine ungerade Anzahl von Reflexionen. Um das Licht eine gerade Zahl von Reflexionen erleiden zu lassen, ist die Glasplatte a a' a'' a''', deren

II.



Flächen einander genau parallel geschliffen sein müssen, auf der einen, z. B. obern Seite, mit dem Zinnfolie-Dreieck b' b' b' und auf der anderen mit eben solchem Dreieck b b b belegt. Beide Dreiecke sind rechtwinklig, von gleicher Größe und Gestalt, decken aber, senkrecht auf das Glas gesehen, einander nicht, sondern sind so verschoben, daß das untere mit seinen Katheten hervorragt. Zum Behufe einer ungeraden Zahl von Reflexionen dient der Theil B, ebenfalls bestehend aus zwei auf den beiden Flächen der Glasplatte befestigten rechtwinkligen Dreiecken von Zinnfolie, von denen aber das auf der einen Fläche befindliche m m' größer als das andere n n' und so angebracht ist, daß es an allen Seiten über dieses hervorragt.

Gesetzt es gehe ein Lichtstrahl durch die Platte und falle auf den belegten Streif b' c b' c des dem Auge des Beobachters zugewendeten Dreiecks, so wird er daselbst reflectirt, auf das Dreieck b b b geworfen und nachdem er dort eine zweite Reflexion erlitten hat, in dem Streifen b b' c b austreten. Geschieht es nicht, so wird es der Fall sein nach vier, sechs oder mehreren geraden Reflexionen, deren Zahl man nach Belieben vergrößern kann, in dem Maße, als man die Reflexionsebene mehr nach der Basis der Dreiecke verlegt. Die Zahl der Reflexionen findet

*) Bibioth. univers. T. LII. p. 212. Pogg. Ann. Bd. XXIX. S. 187.

man leicht, indem man das Auge von der Spitze der Dreiecke gegen die Basis fortführt und zählt, wie oft in der Zone b b' c b das obere Dreieck sich in dem unteren spiegelt. Die Grenzlinien dieser Bilder sind sehr scharf.

Für eine ungerade Zahl von Reflexionen verfährt man ähnlich mit dem Theil B. Man läßt das Licht, dessen Intensität gemessen werden soll, auf eine der hervorragenden Seiten des größeren Dreiecks fallen, und beobachtet es nach seiner letzten Reflexion an demselben Dreieck, aber auf der entgegengesetzten Seite.

Quetelet hat mit Plateau einige Versuche mit diesem Instrument angestellt und ziemlich übereinstimmende Resultate erhalten. Sie fanden, daß es zur Auslöschung des Sonnenlichtes 28 bis 29 Reflexionen bedurfte und daß diese Schätzung nicht um eine oder zwei Reflexionen unsicher war. Das Licht der Sterne erster Größe erlosch nach 20 Reflexionen.

Indeß ist auch dieses Instrument außer mehreren anderen Mängeln mit dem behaftet, daß von dem zwischen den beiden Spiegeln befindlichen Glase eine gewisse Menge Licht absorbirt wird, eine desto stärkere, je größer die Zahl der Reflexionen ist, was mindestens, wenn man es auch in Rechnung nehmen wollte, den Gebrauch erschwert. Um diesen Uebelstand zu entfernen, beabsichtigt Quetelet die Glasplatte zwar fortzulassen und statt der Zinnfolie-Dreiecke zwei Paare blos durch eine Luftschicht getrennter Metallspiegel anzuwenden. Er verhehlt sich jedoch nicht, daß auch diese Vorrichtung mit dem Mangel behaftet sein würde, das Licht, wie Brewster gezeigt hat, durch die mehrmalige Reflexion an den Metallflächen zu färben.

Am 5. August 1833 hielt Arago einen Vortrag über die Mittel zur Lösung der meisten photometrischen Aufgaben, welche durch die Lichtpolarisation entstanden sind, in der Pariser Akademie *). Nach ihm entbehren die von Bouguer, Lambert und Rumford angegebenen Mittel durchaus aller Genauigkeit. Wegen der vielfachen Anwendung, deren die photometrischen Methoden fähig zu sein scheinen, hat Arago einige Jahre gearbeitet an der Ausfüllung dieser Lücke in der Optik.

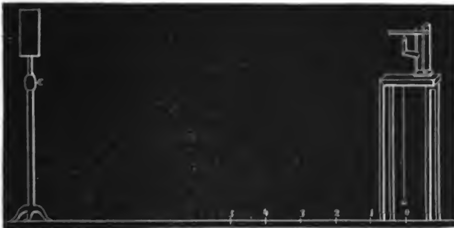
Der Hauptzweck seiner Abhandlung war das Gesetz, nach welchem ein polarisirter Lichtstrahl sich bei seinem Durchgange durch einen doppeltbrechenden Krystall unter dem ordentlichen und außerordentlichen Bilde vertheilt. Die Kenntniß dieses Gesetzes würde sehr einfach zur Lösung einer großen Anzahl sehr sonderbarer astronomischer Aufgaben führen. Als solche bezeichnet Arago unter anderen: den Vergleich der Lichtstärke des Theiles der Mondscheibe, welcher von den directen Strahlen der Sonne beleuchtet wird, mit dem, welcher blos die von der Erde reflectirten Strahlen empfängt. Er glaubt, daß man wird Unterschiede in dem aschfarbigen Lichte als Folge des mehr oder weniger bewölkten Zustandes der Atmosphäre unseres Erdkörpers nachweisen können. Wie wunderbar es auch im ersten Augenblick erscheinen mag, so ist es doch nicht unmöglich, daß die Meteorologen dereinst aus dem Ansehen des Mondes schätzbare Angaben entnehmen können über den mittleren Zustand der Durchsichtigkeit unseres Luftkreises in den Hemisphären, welche successiv zur Entstehung des aschfarbigen Lichtes beitragen.

Nachdem Arago ferner auf den Nutzen des gesuchten Polarisationsgesetzes

*) L'Institut No. 13. p. 168. Pogg. Ann. Bd. XXIX. S. 191; Bd. XXXV. S. 444.

für die wichtigen Beobachtungen der Bedeckungen der Jupitertrabanten hingewiesen hat, geht er zu einer ausführlichen Auseinandersetzung der Methoden über, welche er zum Gebrauch vorschlägt, um für alle Fälle auf experimentellem Wege zur Kenntniß der comparativen Intensitäten der ordentlichen und außerordentlichen Strahlen zu gelangen. Diese Methoden sind durchaus neu und zeichnen sich durch den wahrhaft paradoxen Umstand aus, daß die Vergleichung der beiden Bilder geschieht, ohne daß jemals eine Trennung derselben nöthig ist.

Das von Osann construirte Photometer *) gründet sich auf das einfache Princip, daß der Lichteindruck, den man erhält, wenn man eine beleuchtete Fläche durch eine Röhre ansieht, bei einer gewissen Entfernung ganz verschwindet. Natürlich muß die Entfernung um so größer genommen werden, je intensiver das Licht ist, welches von der Fläche reflectirt wird. Die Quadrate dieser Entfernungen geben dann das Verhältniß der Lichtstärke der verschiedenen das Licht reflectirenden Flächen. — Der Apparat (s. beistehende Figur) besteht aus zwei Stücken, einem feststehenden und einem beweglichen. Auf einem Meßtisch, dessen Tafel ungefähr einen Quadratfuß Oberfläche hat, wird ein Brett von etwa gleicher Größe, das durch eine verticale Linie halbirt ist, vertical an einer Seite befestigt. In der Mitte der einen dieser Hälften wird ungefähr $^2/_3$ von unten eine Oeffnung von 3 Linien Durchmesser angebracht. In diese wird eine Pappröhre von 1 Fuß Länge horizontal eingesteckt und vor dem Brette eine Lampe aufgestellt. Auf der unteren



Fläche des Tisches wird ein Bleiloth gerade unter der Flamme aufgehängt. Gerade unter dem Lothe wird auf der Diele des Zimmers mit Kreide eine gerade Linie gezogen und auf diese eine Eintheilung nach Fußen getragen, deren Anfangspunkt sich unter dem Lothe befindet. Zur Messung kleinerer Größen dient ein Maßstab von 1 Fuß Länge, welcher in 10 Theile getheilt ist. Diesem Theile des Apparates gegenüber befindet sich auf einem tragbaren Stativ eine weiße Tafel, welche längs der auf der Diele verzeichneten Linie genähert und entfernt werden kann. Um Lichtreflex zu vermeiden, sind alle Theile des Apparates, mit Ausnahme der Tafel, schwarz angestrichen.

Versuche mit diesem Apparat können nur zur Nachtzeit und in großen geräumigen Sälen vorgenommen werden. Nothwendig ist es ferner, daß zwei Personen zugleich damit beschäftigt sind. Der eine sieht durch die Pappröhre, während

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIII. S. 418.

der andere sich mit der Tafel nähert oder entfernt. Ist die Tafel so weit entfernt, daß der Lichtschimmer nicht mehr Reflex der Tafel zu sein scheint, so wird die Tafel ganz aus der Gesichtslinie entfernt, um zu erfahren, ob der Lichteindruck schwächer wird. Ist dies der Fall, so muß die Tafel noch weiter entfernt werden und zwar so lange, bis kein Unterschied mehr wahrgenommen werden kann, die Tafel mag in der Gesichtslinie sein oder nicht. Erreicht man sogleich anfänglich diesen Punkt, so muß die Tafel näher gebracht werden, da es möglich ist, daß sie zu weit entfernt war. Ist nun der angegebene Punkt gefunden, so hat man nur noch nöthig die Entfernung der Tafel von der Lichtquelle auf der auf der Diele gezeichneten Linie zu messen.

Mit diesem Apparat untersuchte Osann die Lichtstärke verschiedener farbiger Gläser. Sie wurden einzeln vor die Oeffnung der Röhre gebracht und dann die weiße Tafel so weit entfernt, bis der oben bezeichnete Punkt eintrat. Die verschiedenen Abstände zum Quadrat erhoben, gaben die Verhältnisse der Lichtstärken der Gläser oder die Verhältnisse der Lichtmengen, welche unter diesen Umständen in das Auge des Beobachters gelangten.

In folgender Tabelle sind die Resultate dieser Versuche enthalten. Die zweite Reihe von Versuchen wurde in einem anderen Locale ausgeführt, um möglichen Irrungen, welche durch den Reflex der Wände entstehen konnten, auszuweichen.

	Entfernungen der weißen Tafel vom leuchtenden Punkt in Pariser Fußen	
	Erste Reihe	Zweite Reihe
1) Bei unbedeckter Oeffnung zu Anfange der Versuche bestimmt	56,1	50,2
2) Hellgrünes Glas	42,7	42,9
3) Hellblaues Glas	41,0	41,6
4) Weißes Tafelglas von $1^1/_3$ Linien Dicke	38,3	40,9
5) Hellgelbes Glas	35,6	35,3
6) Blaues von mittlerer Tinte	33,1	32,6
7) Orange von ungefähr gleicher Farbenintensität	21,8	21,0
8) Violettes von ziemlich dunkler Färbung	15,8	15,5
9) Rothes von mittlerer Färbung . .	9,85	10,0
10) Bei unbedeckter Oeffnung zu Ende des Versuches bestimmt	56,3	53,3

Berücksichtigt man die verhältnißmäßig großen Entfernungen, so stimmen die erhaltenen Zahlenwerthe ziemlich gut mit einander überein. Man wird ohne Uebertreibung annehmen können, daß bei einer Entfernung von 36 Fuß die Unsicherheit in den Bestimmungen höchstens einen halben Fuß betrage.

Um aus diesen Zahlen die Lichtintensitäten zu berechnen, wurden aus ihnen zuvörderst die arithmetischen Mittel genommen und diese zum Quadrat erhoben.

Hierauf wurde das Quadrat der Zahl, welche die Lichtstärke bei unbedeckter Oeffnung angiebt, gleich 1000 gesetzt und nach dieser die übrigen erhaltenen Zahlen in Proportion gebracht. Die berechneten Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

	Mengen der durchgegangenen Strahlen	Mengen der zurückgehaltenen Strahlen
1) Hellgrünes Glas	630	370
2) Hellblaues . .	601	399
3) Tafelglas . .	539	461
4) Gelbes Glas .	431	569
5) Blaues . . .	370	630
6) Oranges . .	155	845
7) Violettes . .	81	919
8) Rothes . . .	34	966

Daß dieses Photometer ebenfalls angewendet werden kann, um die Lichtstärke verschiedener Flammen zu bestimmen, so wie um die Stärke des Lichtreflexes beleuchteter farbiger Flächen auszumitteln, braucht wohl nicht erst auseinandergesetzt zu werden.

In Folge einer von der mathematischen Klasse der Königl. Societät in Göttingen 1834 gegebenen Preisaufgabe hat Steinheil in München einen photometrischen Apparat angegeben *), den er Prismenphotometer nennt. Der Grundgedanke für dieses Instrument ist die bekannte Erfahrung, daß ein Stern, welcher dem unbewaffneten Auge, oder in einem zum deutlichen Sehen gestellten Fernrohr wie ein untheilbarer leuchtender Punkt erscheint, sich in ein kreisförmiges Bild ausbreitet, wenn man dem Oculare eine andere Stellung giebt, als das deutliche Sehen erfordert. Dieses Bild ist desto größer, aber eben deshalb in seinen Theilen desto lichtschwächer, je weiter das Ocular von seiner Normalstellung absteht. Für ungleich helle Sterne muß man daher das Ocular in ungleiche Entfernung von der Normalstellung bringen, um die Bilder in gleicher Flächenhelligkeit erscheinen zu lassen. Es läßt sich so die Lichtstärke zweier Sterne schon einigermaßen vergleichen, wenn man undeutliche Bilder von ihnen nach einander beobachtet, ihre Flächenhelligkeit, so viel der Gedächtnißeindruck verstattet, gleich macht und die entsprechenden Ocularstellungen abmißt. Natürlich erwartet man von einem so rohen Verfahren wenig Genauigkeit, und findet sich daher überrascht, daß die von Steinheil angeführten Versuche eine doch viel größere Uebereinstimmung darbieten, als man hätte erwarten mögen. Dies erweckt schon ein günstiges Vorurtheil für den von Steinheil kunstreich angeordneten Apparat, womit man derartige Bilder zweier Sterne zugleich sehen und zu gleicher Flächenhelligkeit bringen kann.

*) Göttinger gelehrte Anzeigen 1835. Nr. 34 und 35. Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 646.

Das Objectiv ist in zwei gleiche Hälften getheilt, die sich nicht neben einander, wie am Heliometer, sondern längs ihrer gemeinschaftlichen Axe, jede für sich, verschieben lassen. Die Mitte der Verschiebungen, die durch Scalen an der Außenseite des Rohres scharf gemessen werden, entspricht, wenn die Ocularröhre ganz eingeschoben ist, ungefähr derjenigen Stellung gegen letzteres, die zum deutlichen Sehen erfordert wird. Die beiden Objectivhälften erhalten ihr Licht durch Spiegel, deren reflectirende Flächen 45° gegen die Axe des Rohres geneigt sind, und von denen der eine, vom Objectiv weiter abstehende, um diese Axe meßbar gedreht werden kann. Diese Axe ist also beim Beobachten zweier Sterne immer gegen den einen Pol des sie verbindenden größten Kreises zu richten. Die Spiegel selbst sind Glasprismen, in welche das Licht senkrecht einfällt und senkrecht aus ihnen austritt. Zwischen den Objectivhälften und den zu ihnen gehörenden Prismenspiegeln sind Diaphragmen angebracht, die durch zwei Schieberpaare gebildet werden. Jedes Schieberpaar wird durch eine Schraube mit entgegengesetzt geschnittenen Gewinden so bewegt, daß die Mitte der Hypothenuse des zu einem größeren oder kleineren rechtwinkligen Dreiecke sich bildenden Diaphragma unverrückt bleibt.

Vermöge dieser Einrichtung sieht man bei gehöriger Stellung des Rohrs und der Spiegel zwei Sterne zugleich und zwar jeden wie eine rechtwinklige Dreiecksfläche, wenn die Objectivhälften von der Normallage zum Ocular abweichen. Von dieser Abweichung hängt sowohl die scheinbare Größe des Dreiecks als dessen Flächenhelligkeit ab, aber jene zugleich mit von der Diaphragmenöffnung, diese von der eigenthümlichen Helligkeit jedes Sterns. Man kann daher durch Aenderung der einen Abweichung die Flächenhelligkeiten beider Bilder, und, wenn man will, durch Abänderung einer Diaphragmenöffnung, auch ihre Größe zur Gleichheit bringen. Daß so das Verhältniß der Lichtstärke zweier Sterne gefunden, und dabei auch etwaige Ungleichheiten in den Objectivhälften und Prismenspiegeln durch umgekehrte Combination eliminirt werden können, bedarf nun keiner weiteren Ausführung.

Steinheil hat seinen Apparat einer strengen Prüfung unterzogen, aber geflissentlich nicht an Sternen, sondern an künstlich hervorgebrachten sternähnlich leuchtenden Punkten. Diese künstlichen Sterne erhielt er durch den Reflex des Tageslichts von zwei nahe gleichen, gut polirten Stahlkugeln, etwa $1/2$ Zoll im Durchmesser. Das Tageslicht, für beide Kugeln von einerlei Stelle des Himmelsgrundes herrührend, gelangte zu den Kugeln durch kreisrunde Blendungen von verschiedener Weite und es war Sorge getragen, daß kein fremdes Licht weder die Kugeln, noch das Auge des Beobachters treffen konnte. Es wurden überhaupt vier Blendungen gebraucht, die engste 7, die weiteste 20 Linien im Durchmesser, durch die sechs verschiedenen Combinationen konnte man also künstliche Sterne von sechs verschiedenen Lichtverhältnissen erhalten. Die größte Ungleichheit, wie 1 : 8, entspricht, nach Steinheil's eigenen Untersuchungen, nahe dem Mittelverhältniß zweier Sterne, die um zwei Ordnungen von einander abstehen. Diese künstlichen Sterne erschienen wirklichen ganz ähnlich, aber ohne den Wechsel und das Wellen, wodurch die Beobachtungen wirklicher Sterne oft so unsicher werden. Ueberdies hatten sie den höchst wichtigen Vorzug, daß ihr Helligkeitsverhältniß aus den Blendungsöffnungen a priori bekannt war.

Steinheil theilt die große Zahl von Messungen ihrer Lichtstärke mit dem

Prismenphotometer im ausführlichen Detail mit. Der wahrscheinliche Fehler einer Vergleichung ergiebt sich aus der Gesammtheit der Messungen als $1/_{32}$ der ganzen Helligkeit, diese möge groß oder klein sein, und die Verhältnisse der verschiedenen künstlichen Sterne zeigen eine vollkommen befriedigende Uebereinstimmung mit den Blendungsöffnungen. Die Tauglichkeit des Apparates zu scharfer Vergleichung der Helligkeit leuchtender Punkte ist hierdurch auf eine genügende Art bewiesen. Man hat Grund genug, auch bei wirklichen Sternen befriedigende Resultate zu erwarten, wenn man nur die Beobachtungen auf besonders günstige atmosphärische Zustände beschränkt, wo man, bei der leichten Handhabung des Instruments, in wenigen Stunden mehr ausrichten wird, als unter ungünstigen Umständen an vielen Tagen.

Steinheil hat noch einen anderen Apparat, den er Ocularapparat nennt, angegeben. Dieser ist jedoch weniger zur Vergleichung der Lichtstärke leuchtender Punkte, als zur Vergleichung der specifischen Helligkeit ausgedehnterer Flächen, z. B. des Himmelsraumes bestimmt.

Talbot hat ein sehr einfaches photometrisches Princip bekannt gemacht *), das vieler nützlichen Anwendungen fähig ist. Obgleich das Princip an sich richtig, stützte Talbot es doch auf wenig beweisende Thatsachen. Deshalb sah sich Plateau veranlaßt **), das nämliche Princip auf directe Weise durch Versuche, die er unternahm, ehe er noch die Arbeit von Talbot kannte, zu begründen.

Dieses Princip läßt sich folgendermaßen aufstellen: „Wenn ein leuchtender Gegenstand regelmäßig intermittirend auf das Auge wirkt und die successiven Momente seines Erscheinens so nahe an einander liegen, daß das Auge sie nicht mehr unterscheiden kann, sondern eine ununterbrochene Empfindung erhält, so ist die scheinbare Helligkeit dieses Gegenstandes geschwächt in dem Verhältniß der Summe der Erscheinungs- und Verschwindungsdauer zur bloßen Erscheinungsdauer."

Talbot macht hiervon einige sinnreiche Anwendungen. Läßt man vor dem Auge eine weiße, mit einem schwarzen Sector bemalte Pappscheibe schnell rotiren, so entsteht bekanntlich eine graue Farbe. Offenbar befindet sich das Auge in Bezug auf jeglichen Punkt dieser grauen Fläche in den vom obigen Princip verlangten Umständen. Denn dieser Punkt wird abwechselnd von einem weißen und von einem schwarzen Raum eingenommen, und er schickt folglich nach einem Punkt der Netzhaut ein regelmäßig intermittirendes Licht. Die scheinbare Helligkeit der grauen Farbe wird sich demnach zu der des weißen Papiers verhalten wie die Durchgangsdauer des weißen Theils durch einen Punkt zur Durchgangsdauer des weißen und des schwarzen Theils durch denselben Punkt, oder, was auf dasselbe hinausläuft, wie die Winkelbreite des weißen Theils zum vollen Kreisumfang. Will man mit Talbot den Dunkelheitsgrad und nicht den Helligkeitsgrad der grauen Farbe messen, so ersieht man aus dem Obigen, daß dieser Dunkelheitsgrad proportional ist der Winkelbreite des schwarzen Sectors. Giebt man demnach diesem letzteren verschiedene Winkelbreiten, so kann man, vom Weiß ab bis zum Schwarz, eine Reihe von Farben bilden, deren jede durch die Winkelbreite des ihr entsprechenden Sectors gemessen wird.

*) Phil. Magaz. Ser. III. Vol. V. p. 321.

**) Bull. de l'acad. roy. Bruxelles 1835. No. 2. p. 52. No. 3. p. 89. Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 457.

Versetzt man eine schwarze Scheibe, die mit sectorenförmigen Löchern versehen ist, so daß die stehend bleibenden Theile eine Reihe dunkler unter sich gleicher Sectoren bilden, eben so in schnelle Rotation und betrachtet durch dieses Instrument einen leuchtenden Gegenstand, so wird dessen Helligkeit, gemäß dem obigen Princip, verringert werden in dem Verhältniß der Summe der Winkelbreiten einer Oeffnung und eines dunkeln Sectors zur Winkelbreite einer Oeffnung. Und daraus ist leicht zu folgern, daß der Grad der Verdunkelung des Gegenstandes gemessen wird durch das Verhältniß der Summe der Winkelbreiten der schwarzen Sectoren zum ganzen Kreisumfang. Sind z. B. 12 dunkle Sectoren vorhanden, jeder von 5°, so wird die Verdunkelung des durch eine solche Scheibe betrachteten Gegenstandes gemessen werden durch das Verhältniß 12 Mal 5 oder 60 : 360. Durch dieses Mittel kann man also die scheinbare Helligkeit eines sehr glänzenden Gegenstandes, z. B. die einer Flamme, in jedem beliebigen Verhältniß schwächen und dann mit einer anderen schon gemessenen Helligkeit vergleichen.

Man kann auch das Bild des leuchtenden Gegenstandes mit einem rasch rotirenden Spiegel auffangen, so daß dieses Bild eine Kreisbewegung bekommt. Es nimmt dann scheinbar die Figur eines zusammenhängenden Ringes an, dessen Helligkeit gemessen wird durch das Verhältniß der wirklichen Breite des Bildes zu dem Kreisumfang, den es beschreibt. Ist der leuchtende Gegenstand z. B. die Sonne, und ein zweckmäßig aufgestellter Spiegel macht das Bild desselben einen größten Kreis der Himmelskugel beschreiben, so wird der centrale Theil dieses Bildes den scheinbaren Glanz im Verhältniß von 360° zum Winkel-Durchmesser der Sonne, d. h. von 720 : 1 verringern. Die erzeugte Lichtzone hat also in ihrer Mitte einen 720 Mal schwächeren Glanz als das Sonnenbild, welches der nämliche Spiegel in Ruhe reflectiren würde.

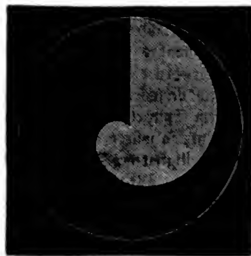
Plateau suchte einen directen Vergleich anzustellen zwischen der Farbe von weißem Papier und der einer Scheibe aus demselben Papier, welche eine gewisse Anzahl schwarzer Sectoren von bestimmter Breite besaß. Zu dem Ende stellte er die rotirende Scheibe und das weiße Papier in ungleichen Abständen von der Flamme einer Kerze auf, und veränderte einen der Abstände so lange, bis die scheinbare Helligkeit beider Gegenstände gleich war. Die Quadrate der Entfernungen gaben nun das gesuchte Verhältniß beider Farben.

Diese Beobachtungen sind einer großen Genauigkeit fähig, weil man die rotirende Scheibe und das weiße Papier, wenn man sie auf der nämlichen Seite der Flamme aufstellt, so betrachten kann, daß sich die erstere auf das letztere projicirt, und dann wird ein sehr geringer Unterschied in der Helligkeit merkbar. Wenn indeß dieser Versuch genügende Resultate geben soll, sind folgende Vorsichtsmaßregeln nöthig. 1) Die Abstände müssen ziemlich groß sein, damit die Dimensionen der Flamme keinen Einfluß haben, denn der Satz von den Quadraten der Abstände setzt einen Lichtpunkt und keinen leuchtenden Körper voraus. 2) Man darf nur einen Punkt des Scheibenrandes vergleichen mit demjenigen Punkt des weißen Papiers, neben welchem der erstere sich projicirt, und man muß die beiden Gegenstände so aufstellen, daß ihre Flächen senkrecht sind gegen die Strahlen, welche von der Flamme zu diesen Punkten gehen. 3) Natürlich muß man die Lichtflamme durch einen Schirm für das Auge verdecken und überdies auf alle mögliche Weise dafür sorgen, daß die beiden zu vergleichenden Gegenstände nur allein von der Flamme Licht erhalten.

Die Unterschiede zwischen den Resultaten, die Plateau bei seinen Versuchen erhielt, und denen, welche das Princip liefert, sind so geringe, daß man dadurch das Princip als hinlänglich bewiesen ansehen kann.

Um nach dieser Methode die Helligkeit eines Körpers zu messen, oder mit dem Grau zu vergleichen, welches eine weiße, mit einem schwarzen Sector bemalte Scheibe bei schneller Rotation liefert, müßte man offenbar außerordentlich viele Scheiben vorräthig haben, welche, was das Verhältniß der Fläche des schwarzen Sectors zur gesammten Oberfläche der Scheibe betrifft, alle möglichen Fälle darböten. Da dieses aber unausführbar ist, so hat Talbot eine Scheibe construirt, welche für sich allein, wenn man sie in Rotation versetzt, von ihrem Mittelpunkt an bis zum Umfang alle möglichen Abstufungen vom Schwarz bis zum Weiß in einer dem Abstande vom Mittelpunkt proportionalen Fortschreitung darbietet.

Es ist nämlich eine weiße Scheibe auf die in beistehender Figur abgebildete Art schwarz bemalt, nämlich so, daß die schwarze Fläche einerseits von einem Radius der Scheibe und andererseits von einer archimedischen Spirale begrenzt wird.



Wenn man die Winkel, von dem senkrechten Radius abwärts nach der Linken gezählt, mit ω bezeichnet und den Fahrstrich der Curve mit ϱ, den Radius der Scheibe dabei zur Einheit genommen, so hat man für diese Curve die Gleichung: $\omega = 360 . \varrho$, wodurch, wie man sieht, die verlangte Bedingung erfüllt ist. Denn nachdem man die Helligkeit eines Körpers gleich gefunden hat der Helligkeit der rotirenden Scheibe in irgend einem Abstande von ihrem Mittelpunkt, so braucht man nur diesen Abstand zu messen, um dadurch auch sogleich die diesem Abstande proportionale Helligkeit des Körpers, in Bezug zur Helligkeit des Weiß der Scheibe, zu erhalten.

Man kann auch den dunkeln Raum ausschneiden und die Scheibe, die natürlich von einer undurchsichtigen Substanz gemacht sein muß, vor einem Licht von constanter und bekannter Helligkeit rotiren lassen. Dann erscheint das Weiß natürlich schwarz und die ganze Helligkeitsabstufung ist umgekehrt; sonst bleibt alles gleich. — Talbot hat das Instrument auch dahin verändert, daß er dem von der Spirale eingeschlossenen Raum und dem übrigen Theil der Scheibe andere Farben als die schwarze oder weiße giebt, wobei er dann den ersten aus einem besonderen Stück Papier schneidet und auf die mit der Grundfarbe bemalte Scheibe legt. Nimmt man z. B. den Spiralraum blau und die Scheibe gelb, so erhält man bei Rotation der Scheibe nahe am Mittelpunkt reines Blau, nahe am Umfang reines Gelb und zwischen beiden irgendwo, wie Talbot sich ausdrückt, eine neutrale Farbe. Der Abstand dieser neutralen Farbe vom Mittelpunkt ist nach der Intensität der componirenden Farben verschieden, und giebt, wenn er gemessen wird, das Verhältniß an, nach welchen die letzteren die neutrale Farbe gebildet haben. — Nach Poggendorff würde zur Anstellung derartiger

Versuche offenbar der Busolt'sche Kreisel *) ein ganz vortreffliches Hülfsmittel darbieten.

Ein anderes von Talbot vorgeschlagenes Mittel, variable Verdunkelungen hervorzubringen, besteht darin, daß man zwei Scheiben von Pappe oder Metall, die eine beliebige, aber gleiche Anzahl sectorenförmiger Ausschnitte enthalten, vor einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche um eine gemeinschaftliche Axe rotiren läßt. Hat jede Scheibe z. B. 18 Ausschnitte von 10°, so wird, da 10° × 18 = 180° = der halben Scheibenfläche, der leuchtende Körper um die Hälfte verdunkelt, sobald die Ausschnitte beider Scheiben genau coincidiren. Jede größere Verdunkelung läßt sich dann durch Verschiebung der einen, zu dem Ende auf der Axe drehbar gemachten Scheibe erlangen, weil dadurch die Ausschnitte für den Durchgang des Lichts in jedem beliebigen Verhältniß schmäler gemacht werden können.

Ein drittes von Talbot empfohlenes Mittel beruht auf der Anwendung eines rotirenden Spiegels, mit welchem man das Bild eines leuchtenden Gegenstandes rasch im Kreise herumführt. Ist das Auge so gestellt, daß es bei jedem ganzen Umlauf des Spiegels einmal von den reflectirten Strahlen getroffen wird und hat die Rotation eine solche Schnelligkeit, daß es die Unterbrechungen des Lichts nicht wahrnimmt, so wird es ein stetiges Bild vom leuchtenden Gegenstande erblicken, dessen Helligkeit sich zur Helligkeit des Gegenstandes verhält, wie der Kreisumfang zur Winkelbreite dieses Gegenstandes, abgesehen dabei von der durch die Reflexion veranlaßten Lichtschwächung, die natürlich verschieden ist nach dem Winkel, unter welchem das Auge die Strahlen von dem Spiegel empfängt. Da die Sonne etwa einen halben Grad im Durchmesser besitzt, so würde sie eine Lichtzone erzeugen, deren Helligkeit in der Mitte sich zur Helligkeit des Sonnenbildes verhielte wie 0,5 : 360, also 720 Mal geringer wäre. Die Helligkeit dieser Lichtzone würde indessen noch viel zu groß sein, um sie mit der Helligkeit irgend eines leuchtenden Körpers auf der Erde vergleichen zu können. Deshalb schlägt Talbot vor, die so erzeugte Lichtzone nochmals auf angezeigte Art zu schwächen, entweder durch einen zweiten rotirenden Spiegel oder durch Rotation einer mit Oeffnungen versehenen undurchsichtigen Scheibe. Da die Helligkeit der ersteren Zone von der Mitte aus abnimmt, so muß man dabei mittelst eines Diaphragma den mittleren Theil derselben abgrenzen, so daß nur Licht von diesem auf die Scheibe oder den zweiten Spiegel fallen kann.

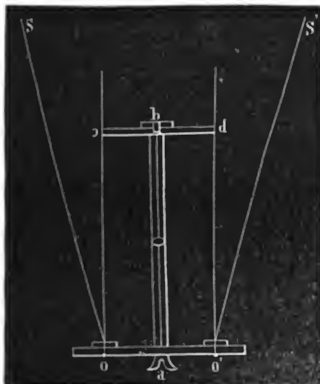
Endlich bemerkt Talbot, daß das von ihm vorgeschlagene photometrische Princip zur Messung hoher Temperaturen angewendet werden könne. Dieser Gedanke ist zwar recht sinnreich, aber es fehlt unstreitig noch viel, ihn in Anwendung bringen zu können.

Doppler beschreibt **) ein Photometer oder einen Apparat zur Messung der Lichtintensitäten, von dem er einen höchst wichtigen Gebrauch macht. Das Instrument besteht aus einer matt schwarzen Platte aus Blech oder sonstigem Material a b (s. umstehende Figur) von etwa 8 bis 12″ Länge und etwa 8″ Breite mit einer Querwand bei b, deren veränderliche Breite c d so verkürzt werden kann, bis der Beobachter, der das mit einer Handhabe bei h nach unten zu, und bei a

*) Pogg. Ann. Bd. XXXII. S. 656. Vergl. auch Art. Farbe.

**) Beiträge zur Fixsternkunde. Prag 1846. S. 5. Poggend. Ann. Bd. LXXII. S. 539.

durch eine sattelähnliche Vertiefung zur Aufnahme des Gesichtsvorsprunges versehene Instrument vor sich nimmt, einen entfernten Gegenstand mit beiden Augen zu sehen beginnt, und demnach mit jedem einzeln nur die Hälfte des ganzen Gesichtsfeldes übersieht. In o und o' sind Diopter mit veränderlichen, doch genau meßbaren Aperturen angebracht. Zu diesem Zwecke schlägt Doppler vor, diese Oeffnungen nicht kreisrund, sondern rechteckig einzurichten, etwa indem man zwei über einander liegende feine Doppelplättchen so anbringt, daß sie sich mittelst Mikrometerschrauben nähern und entfernen lassen und eine bequeme Ablesung der Seiten des Achtecks gestatten. Bei Gegenständen, die mit freien Augen gar nicht mehr sichtbar sind, wird man statt bloßer Diopter zwei möglichst gleiche Fernröhre anzubringen haben.



Dieses Werkzeug dient zur Messung der Lichtintensitäten zweier Objecte, deren das eine durch das eine, das andere gleichzeitig durch das andere Auge gesehen werden kann, wenn man die Aperturen so lange ändert, bis beide Objecte einen ganz gleichen Eindruck auf das Auge machen, wo dann begreiflich aus der Verschiedenheit der dazu nöthigen Aperturen auf die verschiedene Intensität des Lichts der Objecte geschlossen werden kann. Doppler giebt auch die Hülfsmittel an, die man anzuwenden hat, wenn die Empfindlichkeit der Augen für das Licht ungleich ist.

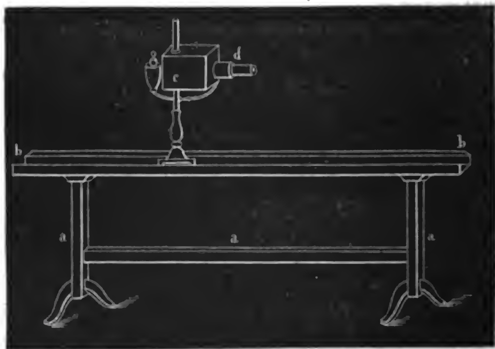
Das Wheatstone'sche Photometer ist eine durch eine besondere Vorrichtung in Bewegung gesetzte, metallisch glänzende Perle, die von entgegengesetzten Seiten durch die zu vergleichenden Lichtquellen beleuchtet wird. Dann bilden sich zwei glänzende Linien, welche einander gleich sind, sobald von beiden Seiten eine gleiche Lichtmenge auf die Perle fällt.

Das von Bunsen construirte Photometer *) beruht auf dem Umstande, daß eine ungleich transparente Fläche nur dann von homogener Helligkeit erscheint, wenn sie von beiden Seiten Lichtmengen von gleicher Intensität empfängt, daß dagegen der durchscheinende Theil gegen den weniger durchscheinenden sich dem Auge an der Seite dunkler darstellt, wo die Intensität des sie beleuchtenden Lichtes überwiegt. Wird z. B. ein Blatt starkes Zeichnenpapier, welches zur Hälfte mit Stearinsäure getränkt ist, von beiden Seiten durch zwei Lichtquellen gleich stark beleuchtet, so erscheint sowohl der getränkte, als der nicht getränkte Theil von gleicher Helligkeit, so daß beide sich nicht durch das Auge unterscheiden lassen. Die Ursache dieser Erscheinung ist leicht verständlich. Faßt man zunächst die von der einen Lichtquelle beleuchtete Fläche ins Auge, so sieht man sogleich, daß sie auf

*) Pogg. Ann. Bd. LX. S. 403; Bd. LXIII. S. 578.

allen Punkten eine gleiche Lichtmenge empfängt, die theils zurückgeworfen, theils je nach dem Grade der Transparenz hindurchgelassen wird. Denkt man sich nun die andere Lichtquelle hinweg, so wird die Papierfläche, trotzdem sie doch überall gleiche Lichtmengen empfängt, nicht homogen, sondern in dem getränkten Theile dunkler erscheinen wie in dem nicht getränkten, weil dort mehr Licht durch das transparentere Papier verloren geht wie hier. Denkt man sich dagegen das Papier auch von der anderen Seite gleich stark beleuchtet, so muß der Verlust an Helligkeit, welchen die der anderen Lichtquelle zugekehrte Seite erleidet, durch das von der entgegengesetzten Seite her durchgelassene an Intensität gleiche Licht genau compensirt werden und die Papierfläche gleich hell erscheinen, wie ungleich die Transparenz beider Hälften der Fläche auch sein mag. Durch eine ähnliche Betrachtung läßt sich erweisen, daß, wenn von einer Seite her intensiveres Licht auf die eine Papierfläche fällt als von der anderen Seite auf die andere, die transparentere Hälfte von der anderen Seite gesehen heller, und umgekehrt, wenn von der entgegengesetzten Seite weniger Licht kommt, dunkler erscheinen muß als die nicht getränkte Hälfte.

Der wesentlichste Theil dieses Photometers ist daher auch ein Stückchen weißes mit Stearinsäure getränktes Zeichnenpapier, in dessen Mittelpunkte ein kleiner nicht getränkter Ring von dem Umfange einer Erbse frei gelassen worden ist. Man erreicht dies leicht, wenn man das Papier auf eine erwärmte Platte legt und geschmolzene Stearinsäure in immer engeren Kreisen mit dem Finger darauf umherreibt, bis noch eine kleine ungetränkte Kreisfläche übrig bleibt. Legt man in den Mittelpunkt dieser Kreisfläche ein Körnchen Stearinsäure, während das Papier auf der heißen Unterlage liegt, so gelangt man leicht dahin, einen kleinen regelmäßigen ungetränkten Ring auf dem gleichmäßig vom Stearin durchdrungenen Papier herzustellen. Mit diesem Papier verschließt man die äußere Oeffnung des Auszugsrohres d (s. beistehende Figur) an dem inwendig geschwärzten Photo-



meterkasten c, der eine möglichst constante Lichtquelle, etwa eine Argand'sche Lampe enthält. Der Photometerkasten läßt sich in einer, auf einem hölzernen Gestell a a

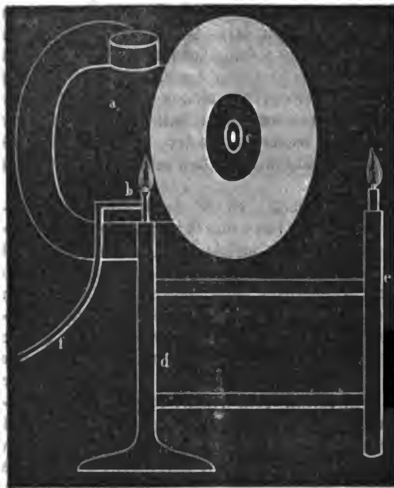
ruhenden und am Rande mit einer Maßeintheilung versehenen Rinne b b so verschieben, daß er in beliebige Entfernungen von der zu untersuchenden Lichtquelle gebracht werden kann.

Betrachtet man das Diaphragma (das getränkte Papier), während es durch die Lampe im Kasten erhellt wird, von einem dunkeln Raume aus, so erscheint der ungetränkte Ring des Papiers schwarz auf weißem Grunde. Bringt man ein Licht vor das Diaphragma, so wird es in dem Maße heller, als ihm das Licht näher und näher rückt, bis er in einer gewissen Entfernung verschwindet und bei noch größerer Nähe des Lichtes wieder zum Vorschein kommt, aber nun hell auf einem dunkleren Grunde. Das Verschwinden des Ringes läßt sich daher sehr scharf beobachten. Dieser Punkt giebt das umgekehrte Intensitätsverhältniß der zu vergleichenden Lichtquellen, d. h. der im Kasten und der, die von außen das Diaphragma erhellt, an, wenn man die Abstände derselben vom Diaphragma mißt und diese ins Quadrat erhebt.

Bei diesem Instrument ist die Fehlerquelle, die sich bei den sonst gebräuchlichen Photometern, wie bei dem von Rumford und Ritchie, so sehr bemerkbar macht, sobald die Lichtquellen verschieden gefärbt sind, nur in einem höchst geringen Maße zu befürchten, sobald man das Instrument weniger empfindlich macht, d. h. den Unterschied der Transparenz durch Anwendung eines dickeren Papiers verringert. Die Wirkung, welche dadurch erreicht wird, ist leicht ersichtlich. Denkt man sich z. B. die vordere Fläche durch röthliches Licht, die hintere aber durch weißes erhellt, so wird an den transparentesten Theilen stets eine größere Menge durchgelassenes rothes Licht durch weißes von der anderen Seite her ersetzt, während der weniger transparente Theil weniger rothes Licht hindurchläßt, welches durch weißes von hinten ersetzt wird. Der transparentere Theil erscheint daher stets etwas blasser roth gefärbt als der andere. Verringert man aber den Unterschied in der Durchscheinheit, so wird der Farbenunterschied für das Auge nach und nach verschwindend, während man den Uebergang von Hell in Dunkel noch deutlich wahrnehmen kann. Am besten nimmt man in diesen Fällen statt des getränkten dickeren Papieres ein Stückchen feines von rechteckiger Form, 4 bis 5^{mm} breit und 10 bis 12^{mm} lang, welches zwischen zwei andere quadratische Stückchen desselben Papieres von etwa 6 bis 7 Quadratcentim. Größe gelegt wird. Letztere werden wieder zwischen zwei mattgeschliffene Glasplatten von derselben Größe gelegt und das Ganze durch hölzerne Querleisten so hinter der 2 bis 3 Centimeter im Durchmesser haltenden kreisrunden Oeffnung in der einen Wand des Photometerkastens befestigt, daß das kleinste Papierstückchen sich in der Mitte des Kreises befindet. Brennt die Lampe in dem Kasten, so erblickt man in einem vollkommen verdunkelten Zimmer nur die Oeffnung des Kastens transparent beleuchtet und zwar so, daß das kleinste Papierstückchen in der Mitte dunkler gegen seine Umgebung erscheint. Stellt man nun ein Licht vor die Oeffnung, so treten hier die Erscheinungen ein, die wir bereits oben besprochen haben.

Der Universitäts-Mechanikus Desaga in Heidelberg verfertigt Bunsen'sche Photometer, die jedoch anders eingerichtet sind, wie der in Figur S. 296 abgebildete. Sie bestehen, wie umstehende Figur zeigt, aus einem verschließbaren Gehäuse (a), dessen eine Seite (c) die mit Stearin getränkte Papierscheibe enthält. Das Gehäuse, welches im Innern mit einer Gasflamme (b) versehen ist, steht auf einem Stativ (d), auf dem es sich in horizontaler Richtung drehen läßt. Mit

dem Stativ fest verbunden ist der Träger für das Normallicht c. Bei einer anzustellenden Messung wird, nachdem das Normallicht etwa 10 Minuten gebrannt und so die normale Höhe der Flamme erreicht hat, das in dem Gehäuse brennende Gaslicht mit dem an dem Kautschuckschlauch f befindlichen Quetschhahn so regulirt, daß der mit Stearin nicht getränkte Theil keinen Unterschied mehr mit dem getränkten wahrnehmen läßt, wodurch der Eindruck, den das Normallicht auf das Papier hervorgebracht hat, vollständig aufgehoben ist. Nun wird das Gehäuse um 180 Grade gedreht, wodurch die Papierscheibe dem zu messenden Lichte gegenüber steht. Es muß nun auch hier der Eindruck, welchen das Licht auf das Papier ausübt, verschwinden, was aber nur durch Näherrücken oder Entfernen zu geschehen hat. Statt des unbequemen Messens der Entfernungen ist eine Scale angebracht, von welcher die Lichtstärke ohne Weiteres abgelesen werden kann. — Ein solcher Apparat kostet 12 Gulden (6 Thlr. $25^3/_4$ Sgr.), mit Träger für das Normallicht, Trieb zum Einstellen der Ausgleichungslichtquelle, verschiebbar auf einem Schlitten, mit Scale zum Ablesen der Lichtstärken 30 Gulden (17 Thlr. $4^1/_3$ Sgr.), ferner mit kleinem Gasometer, Scale, zwei Manometern, überhaupt mit allem Nothwendigen zum Messen und Vergleichen von Lichtstärken in einem eleganten schrankähnlichen Gehäuse 120 Gulden (68 Thlr. $17^1/_2$ Sgr.).



Casselmann hat durch Versuche nachgewiesen *), daß das Bunsen'sche Photometer genauere Resultate liefert als das Rumford'sche. Er fand es auch ausreichend zur schätzenden Vergleichung des Lichts der Flammenbogen, die entstehen, sobald man zwei sich berührende Kohlenspitzen, welche eine vielpaarige Kohlenzinkkette schließen, von einander trennt, mit dem einer gewöhnlichen Stearinkerze. Die Versuche wurden mit einer Säule von 44 und mit einer von 34 Paaren angestellt; beide waren schon längere Zeit in Gebrauch gewesen. Hiernach würde das Maximum der durch diese Flammenbogen erhaltenen Lichtintensität die einer Kerzenflamme um 117130 übertreffen.

*) Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 588.

Masson bediente sich bei seinen elektro-photometrischen Studien *) eines eigenen Apparates, den er elektrisches Photometer nennt. Der Apparat besteht einfach aus einer Scheibe von 8 Centimetern Durchmesser mit 60 gleichen Sectoren. Sie wird durch ein Uhrwerk in Bewegung gesetzt und macht 200 bis 300 Umläufe in der Secunde.

Babinet hat den Polarisationsapparat als Photometer in Anwendung gebracht **). Die zu vergleichenden Lichtquellen werden so gestellt, daß die Strahlen der einen durch schräg gestellte Glasplatten hindurchgehen, die der anderen von diesen zurückgeworfen werden, um in das Auge des Beobachters zu gelangen. Es treten alsdann, wenn vor dem Auge ein Bergkrystall und ein Kalkspath aufgestellt werden, die bekannten Farben des polarisirten Lichtes auf. Da diese für die hindurchgelassenen Strahlen andere als für die zurückgeworfenen sind, so läßt sich aus dem Gesammteindruck beurtheilen, ob jene oder diese überwiegen oder ob beide in gleicher Menge vorhanden sind. Das letztere wird durch Rücken der Lichtquellen herbeigeführt; die Entfernungen der Lichtquellen geben dann das Verhältniß der Lichtquellen an. Da es bis jetzt unmöglich war, ein objectives Mittel aufzufinden, welches in gleicher Weise auf alle Arten von Licht wirkt, so liefen alle photometrischen Bestimmungen auf eine Beurtheilung mittelst des Auges hinaus. Babinet hat auf sinnreiche Art gerade diejenige Eigenschaft des Auges benutzt, zu der es in einem so bewunderungswürdigen Grade befähigt ist, nämlich die Eigenschaft: Farbennüancen zu erkennen.

Foucault fand zwar das Babinet'sche Photometer sehr empfindlich und theoretisch untadelhaft, aber in der Praxis zu umständlich. Auch hält er die nothwendige Zuziehung eines Hülfslichtes für einen großen Uebelstand, weshalb er sich vornahm einen neuen Apparat zu construiren ***). Er stellte sich die Aufgabe, zwei Theile ein und desselben Schirmes durch die directen Strahlen der zwei zu vergleichenden Lichtquellen zu beleuchten und zwar so, daß die zwei beleuchteten Stellen genau und ohne Dazwischentreten jeden sichtbaren Halbschattens einander berühren. Die Empfindlichkeit des Verfahrens hängt ab von dem mehr oder weniger vollständigen Verschwinden jeder wahrnehmbaren Grenze zwischen beiden Stellen in dem Augenblick, wo beiderseits die Bestrahlung gleich stark wird.

Der hierzu dienende sehr bequeme Apparat besteht aus einem würfelförmigen Kästchen, welches von einer in ihrer eigenen Ebene beweglichen Zwischenwand in zwei gleiche Fächer geschieden ist. Die Hinterwand des Kästchens, welche gegen den Beobachter gerichtet ist, bildet ein unpolirter Schirm, welche die Rolle der mattgeschliffenen Tafel in der Camera obscura spielt. Die gegenüberstehende Wand bleibt weg. Hier fallen die Strahlen der beiden Lichtquellen gesondert in ihr respectives Fach. Der Apparat wird symmetrisch so gestellt, daß die Mittelwand den Winkel zwischen den beiderseitigen Lichtstrahlen, welche gegen die Mitte des Schirmes convergiren, halbirt.

Bei dieser Stellung kann es nun kommen, daß die Schatten der Zwischenwand, welche die Lichtquellen auf die ihnen entgegengesetzte Seite werfen, durch

*) Compt. rend. T. XVIII. p. 289; T. XIX. p. 325. Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 158 u. 162.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXI. S. 132.
***) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 54.

einen hellen Raum getrennt sind, oder auch daß im Gegensatze davon die beiden Schatten in einander eingreifen; aber jedenfalls ist die innere Grenze derselben scharf bestimmt. Da nun die Zwischenwand sich verschieben läßt, so giebt man ihr diejenige Stellung, welche nothwendig ist, damit die beiden Schatten sich gerade berühren. Man bemerkt nun mit überraschender Genauigkeit den geringsten Ueberschuß der einen Beleuchtung über die andere und kann darnach die Stellung der beiden Lichtquellen reguliren. Ist die Gleichheit hergestellt, so hat man nur die directe Entfernung der beiden Lichtquellen zu messen.

Die Wirkung des Schirmes beruht auf seiner Transparenz. Mattgeschliffenes Glas ist hier aber nicht am Platze, weil es zu durchsichtig ist und das Licht nicht genug zerstreut und daher zu falschen Schlüssen Veranlassung geben kann. Auch Papier verwischt durch die Ungleichheit seiner Textur die Differenzen, welche das Auge auf einem feineren und gleichartigeren Stoffe noch wahrzunehmen im Stande ist. Foucault bildete daher den Schirm aus einer Lage Stärkemehl, welches in Wasser suspendirt, sich in der Ruhe auf ein Spiegelglas abgesetzt hatte.

Aus dem Vorstehenden ist ersichtlich, daß gerade die Astronomie, welche ein messendes Instrument für die verschiedenen Lichtstärken der Sterne seit Jahrhunderten sehr nöthig gehabt hätte, und zwar ein Instrument, das in Beziehung auf Schärfe der Messung wenigstens einigermaßen mit der Ausbildung der übrigen astronomischen Meßwerkzeuge gleichen Schritt gehalten hätte, — zuletzt an die Construction eines solchen Werkzeuges dachte. Sie begnügte sich mit dem trüglichen Augenmaß; nach dem Eindruck, welchen die größere und geringere Lichtintensität der Sterne auf der Netzhaut des Auges hervorbrachte, theilte man die Fixsterne in Sterne von verschiedenen Größen. Selbst als John Michell, einer der scharfsinnigsten Mitarbeiter an den Philosophical Transactions des vorigen Jahrhunderts, den Astronomen als eine ihrer Beachtung würdige Aufgabe die Bestimmung vorgeschlagen hatte, wie viel Licht uns ein Fixstern im Verhältniß zur Sonne zusende, wurde dennoch kein Astronom angeregt, eine Methode zur Anstellung der erforderlichen Beobachtungen zu ersinnen, obgleich Michell so bestimmt von der Wichtigkeit eines solchen Vergleiches und den Folgerungen, die daraus ein scharfsinniger Beobachter in Bezug auf die Entfernung der ihrer Helligkeit nach gemessenen Sterne würde ableiten können, sprach. Wegen der Unmöglichkeit, die jährliche Parallaxe dieser entfernten Himmelskörper zu messen, bemerkt Michell, sei solch ein Vergleich das beste und vielleicht das einzige für uns ausführbare Verfahren, wenn auch nicht genaue, doch mindestens wahrscheinliche Werthe über die Entfernungen derselben zu erhalten und uns vernünftige Vorstellungen über die Ausdehnung des sichtbaren Weltalls zu bilden.

Michell hat nur einige rohe Versuche zur Bestimmung der relativen Helligkeit gewisser Hauptsterne gemacht, aber keine Vorrichtung angegeben, wie das Licht eines Sternes mit dem der Sonne zu vergleichen sei. Durch seine Betrachtungen aber fühlte sich Wollaston angeregt und er war der erste, der ein auf rein physikalischen Principien gegründetes Photometer herstellte, welches erlaubte, zwei Lichtquellen oder wenigstens die hinter optischen Linsen entstandenen Bilder dieser Lichtquellen mit einander messend zu vergleichen. Dieses Instrument übergab er erst 1829 der Oeffentlichkeit. Durch Wollaston, Steinheil, Ritchie, Talbot und Bunsen, die, wie wir gesehen, alle Photometer construirt haben, läßt sich nur reflectirtes Licht einer Lichtquelle mittelst des Augenmaßes bestimmen

und die Schärfe dieser Bestimmung hängt also lediglich von einer sehr unsichern Schätzung ab. An derselben Unsicherheit innerhalb gewisser Grenzen leidet auch, wie bereits bemerkt, Rumford's Photometer. Auch die Erwärmung und chemische Wirkung liefern uns weitere Anhaltepunkte zur Construction von Photometern, welche sich jedoch auch nur unter gewissen Umständen anwenden lassen und noch weniger sichere Resultate geben. Herschel hat z. B. Bromsilber als photometrische Substanz angewendet; aber darauf wirkt nur Tageslicht allein.

So fehlte also bis in die neueste Zeit ein Instrument, das in allen Fällen sichere Resultate liefert. Diesen Uebelstand hat Schafhäutl durch sein Universal-Vibrations-Photometer *) beseitigt. Als er sich 1837 in London befand, hatte das englische Parlament die Aufgabe gestellt, photometrische Messungen zwischen dem sogenannten Budelicht und den gewöhnlichen Gasflammen anzustellen. Aber alle damals bekannten Photometer versagten den Dienst. In einem Gespräch mit dem Ingenieur Parkes zu London über diese Angelegenheit fiel Schafhäutl ein Instrument bei, das er damals schon zu München construirt hatte, um die Dauer eines Lichteindruckes auf das Auge zu messen; ferner daß diese Dauer eines Lichteindruckes, da sie in einem gewissen Verhältnisse zu der Intensität des Lichtstrahles stehen muß, zugleich auch als Maß dienen könnte, die Intensität oder Lichtstärke eines Lichteindruckes zu bestimmen.

Die Hauptaufgabe ist hier, die Dauer eines Lichteindruckes auf die Retina so genau als möglich zu messen. Da die Zeit derselben aber sehr klein ist, so reichen unsere gewöhnlichen Meß- und Zählapparate nicht mehr hin. Schon vor 30 Jahren, als Schafhäutl den Plan zu seinem Instrumente entwarf, war er überzeugt, daß man bei Messung so kleiner Zeiträume nie ein beachtenswerthes Resultat erhalten würde, wenn die Maschine, die den Eindruck im Auge erregt, und diejenige, welche die Zeit seines Anfanges und Endes mißt, von einander abgesondert oder nicht ein und dieselbe wären. Deshalb wählte Schafhäutl ein einfaches Pendel, dessen Schwingungen die Zeit angaben, während dessen Linse den zu messenden Lichteindruck im Auge erregte. Da einfache Pendel von solcher Kürze nicht wohl zu construiren waren, die schnell genug vibrirten, um so kleine Zeiträume zu messen, zog Schafhäutl der Pendelstange eine Stahlfeder vor, die an ihrem unteren Ende befestigt, an ihrem oberen Ende statt der Linse einen rectangulären Schirm aus dünnem, geschwärztem Kupferblech trägt, der in der Mitte von einer rectangulären Oeffnung von bekannter Größe durchbrochen ist.

Das erste Instrument dieser Art construirte Schafhäutl noch in England und legte es 1843 der Münchener Akademie vor. Als Erstling hatte es natürlich noch manche Unvollkommenheiten an sich, die im Laufe der Zeit verbessert worden sind, so daß es sich jetzt seit einigen Jahren durch den Gebrauch bewährt hat. Die Länge der freien Feder ist = 438^{mm}, die Breite 8^{mm} und die Dicke 0,6^{mm}. Die Feder ohne Schirm macht als Mittel, aus zahlreichen Beobachtungen gewonnen, 159 doppelte Schläge in der Minute bei 16° R. Jeder der Schirme wiegt 3,765 Grm. und durch dieses aufgestellte Gewicht werden die Schwingungen der Feder auf 120 Doppelschläge verlangsamt. Die Feder kann nach Gefallen verkürzt werden, um innerhalb einer gewissen Grenze jede mögliche Anzahl von

---

*) Abbildung und Beschreibung des Universal-Vibrations-Photometers. München 1854.

Schwingungen hervorzubringen. Je kürzer die Feder ist, um desto mehr retardirend wirkt der Schirm auf die Schwingungen.

Eine verticale cylindrische Säule, an der die Feder befestigt ist, trägt an ihrem oberen Ende eine horizontale, von Dioptern geschlossene Röhre in einer solchen Höhe, daß der Schlitz in dem Schirme der vibrirenden Feder während jeder Vibration die Axe dieser Diopterröhre einmal schneiden muß. Gesetzt nun, wir bringen das Auge an das Ocular-Diopter der horizontalen Röhre, so wird, so lange die Feder in Ruhe ist, der schwarze Schirm das Eindringen jedes Lichtstrahles in unser Auge durch die Diopter verhindern. Bringen wir jedoch die Feder in Schwingungen von einer dem Diameter des Schirmes angemessenen Amplitude, so wird, indem die Oeffnung im Schirme die Axe der Diopter schneidet, während der Zeit dieses Schneidens einem Lichtstrahlenbündel verstattet, in unser Auge zu dringen, d. h. einen Lichteindruck auf der Retina unseres Auges hervorzubringen, der sogleich wieder verschwindet und erst wieder erneuert wird, wenn die Oeffnung im Schirme der Feder beim zweiten Theil ihrer Schwingung in der entgegengesetzten Richtung die Axe der Diopterröhre schneidet. Die Zeit, die zwischen zwei solchen Lichteindrücken verfließt, ist gleich der Dauer einer Schwingung, die aus der Länge der vibrirenden Feder leicht berechnet werden kann. Jeder dieser Strahlenbündel nun, der die Retina in dem Moment trifft, in welchem die Schirmöffnung die Axe der Diopterröhre schneidet, wird auf der Retina Schwingungen hervorrufen, die mit der Schwingungs-Amplitude der Originalwelle in einem bestimmten Verhältnisse stehen und fortdauern, wenn die erregende Original-Ursache bereits zu wirken aufgehört hat, die aber desto länger dauern werden, je größer die Gewalt des ersten Eindrucks der Lichtwelle oder des Strahlenbündels war.

Dauert der erste Eindruck auf der Retina länger, oder so lange fort, bis der zweite Lichteindruck auf der Retina bei der zweiten Schwingung der Feder erfolgt, so wird der Lichteindruck im Auge fortzudauern scheinen, so lange die Feder mit dem Schirme schwingt, trotz des regelmäßigen Aufhörens der erregenden Ursache; dauert hingegen der Lichteindruck nicht bis zum Beginnen des nächsten Lichteindruckes der nächsten Schwingung, so wird zwischen den mit jeder Schwingung correspondirenden Lichteindrücken ein dunkles Intervall folgen, oder der Lichteindruck wird wenigstens an Intensität abnehmen und wieder zur vollen Intensität steigen mit der zurückkehrenden Schwingung des Schirmes, d. h. das leuchtende Bild wird zu zittern scheinen. In beiden Fällen haben wir noch kein Maß der Dauer des leuchtenden oder des dunkeln Intervalles. Gesetzt nun, wir haben die Schwingungen der Feder so weit verlangsamt, daß wir ein dunkles Intervall zwischen zwei leuchtenden Eindrücken oder überhaupt ein Zittern des Lichtbildes bemerken, so dürfen wir nur mittelst des Getriebes die Feder so lange behutsam verkürzen, d. h. die Zahl der Schwingungen vermehren, bis kein dunkles Intervall zwischen zwei leuchtenden Eindrücken bemerkt wird. Die Dauer des Lichteindruckes hält nun so lange an, bis der zweite erfolgt oder bis das leuchtende Bild ruhig im Auge erscheint. In diesem Falle ist natürlich die Dauer einer solchen Federschwingung der Dauer des Lichteindruckes gleich. Jede beliebige Länge der Feder kann sehr genau gemessen werden und so läßt sich auch die Zahl der Schwingungen sehr leicht daraus berechnen, denn diese werden sich umgekehrt verhalten, wie die Quadrate der Federlängen.

Bezeichnen wir die bekannte Anzahl der Schwingungen der unverkürzten

Feder in einer Secunde mit n, die Länge der Feder mit L, die verkürzte Länge der Feder mit l und die dieser Länge entsprechende Anzahl der Schwingungen mit N, so haben wir den Ausdruck $N = \frac{n L^2}{l^2}$ oder wenn wir die ursprüngliche Länge der Feder = l annehmen, so wird der Ausdruck noch einfacher: $N = \frac{n}{l^2}$. Nennen wir ferner die gesuchte Zeit der Dauer einer Vibration S, so ergiebt sich der Ausdruck $S = \frac{l^2}{n}$, der uns also auch die Zeit der Dauer eines Lichteindruckes giebt. Das Quadrat der Dauer eines Lichteindruckes auf der Retina ist nun gleich der Intensität dieses Lichtstrahls, oder wenn wir die Intensität des Lichtstrahls mit J bezeichnen, so haben wir $J = \frac{L^4}{n^2}$; bezeichnen wir die Intensität eines anderen Lichtstrahlenbündels mit i, die entsprechende Länge der Feder mit l, so haben wir dafür wieder $i = \frac{l^4}{n^2}$; und wenn wir diese beiden Ausdrücke mit einander vergleichen, so ergiebt sich das Verhältniß $\frac{J}{i} = \frac{L^4}{l^4}$.

Wir erhalten auf diese Weise ein Maß für den absoluten Glanz eines Gegenstandes, er mag nun keinen scheinbaren Durchmesser haben, wie z. B. die Sterne, oder einen merklichen Durchmesser besitzen, wie z. B. die Sonne, Kerzen oder Gasflammen oder auch leuchtende Flächen. Es kömmt jedoch viel häufiger bei photometrischen Aufgaben eine andere Frage zu erörtern, nämlich: Wie verhält sich die scheinbare Helligkeit eines leuchtenden Objectes zu einer anderen, d. h. wie viel Licht von gewisser Intensität sendet ein leuchtender Körper im Vergleiche mit einem anderen von verschiedener Area und Entfernung in unser Auge? Die scheinbare Helligkeit eines Gegenstandes ist nach Herschel der Quotient der absoluten Helligkeit, dividirt durch das Quadrat seiner Entfernung vom Auge. Die absolute Helligkeit eines Gegenstandes ist aber bekanntlich gleich dem Producte aus dem absoluten Glanze und der Area des Gegenstandes. Bezeichnen wir demnach, wie vorher, die größte relative Länge der Feder mit L, die kleine mit l, den der größten Federlänge entsprechenden Durchmesser des Objectes oder auch unserer Schirme mit Δ, den der kleinen Federlänge entsprechenden mit δ; die Δ entsprechende Distanz des Objectes vom Auge oder für die Länge der Ocularröhre mit Λ und die dem δ entsprechende Distanz des Objectes mit λ, so verwandelt sich die oben angegebene einfache zweite Formel $\frac{L}{l}$ in $\frac{L^4 \Lambda^2 \delta^2}{l^4 \lambda^2 \Delta^2}$.

Das Instrument erlaubt gleichfalls, gleichsam als Controle, die Dauer des dunkeln Intervalles zwischen zwei Lichteindrücken zu messen und auch hier finden wir das Gesetz, daß sich die Intensitäten wie die vierten Potenzen der verschiedenen Pendellängen verhalten. — Ueber den Gebrauch des Instrumentes verweisen wir auf die Abhandlung selbst, die zugleich eine sorgfältig ausgeführte Zeichnung enthält.

Man könnte gegen die Zuverlässigkeit des Instrumentes einwenden, daß

wenigstens die feineren Resultate von der Beschaffenheit des Sehorganes selbst abhängen könnten und deshalb durch die verschiedenen Augen, welche sich des Instrumentes bedienen, auch verschiedene Resultate bei ein und derselben Messung erhalten würden. Allein die Erfahrung hat gelehrt, daß dies nicht der Fall ist. Als ein Beispiel für die Feinheit der durch das Instrument zu bemerkenden und messenden Unterschiede giebt Schafhäutl folgendes Experiment an. Es wurde die Flamme einer Wachskerze in die gehörige Sehweite des kurzen Diopters gebracht und die Feder so lange verkürzt, bis die Flamme vollkommen ruhig wurde. Die Flamme war bei jedem Versuch bei 0,1 ruhig, bei 0,105 fing sie merkbar zu vibriren an. Daraus ergiebt sich 0,00281 Secunde als die Dauer einer Vibration; für 0,105 erhalten wir aber 0,00256 Secunde. Wir messen daher noch 0,0052 Secunde mit voller Sicherheit.

Die ältesten sehr gründlichen Untersuchungen sind von Lambert angestellt und in einem eigenen Werke (Photometria) veröffentlicht worden. Lambert entnahm wie Bouguer und Ritchie die Lichtstärke zweier leuchtender und beleuchteter Körper aus der Stärke der Beleuchtung, die dadurch einer leuchtenden Fläche zu Theil wird. Die mittlere Helligkeit des Mondes bei seinen verschiedenen Phasen giebt Lambert wie folgt an.

Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit
0°	0,0000	70°	0,3366	130°	0,5747
10°	0,0494	80°	0,3814	140°	0,6043
20°	0,0986	90°	0,4244	150°	0,6294
30°	0,1475	100°	0,4657	160°	0,6490
40°	0,1959	110°	0,5048	170°	0,6619
50°	0,2437	120°	0,5413	180°	0,6666
60°	0,2907				

Als Einheit ist hierbei angenommen die Helligkeit des Vollmondes an der von den Sonnenstrahlen senkrecht getroffenen Stelle. Die mittlere Helligkeit der Planeten in der Opposition wird von Lambert folgendermaßen angegeben:

Merkur . . .	6,6735
Venus . . .	1,9113
Erde	1,0000
Mars . . .	0,4307
Jupiter . . .	0,0370
Saturn . . .	0,0110

Lambert hat ferner Rechnungen und Versuche angestellt über das Verhältniß des von Glastafeln zurückgeworfenen, gebrochenen und verlorenen Lichtes, welches senkrecht auf dieselben fällt. Nach der Anzahl der Gläser sind hiernach die verhältnißmäßigen Quantitäten, die Menge des einfallenden Lichtes = 1 gesetzt, folgende:

Gläser	Zurückgeworfenes	Gebrochenes	Verlornes
1	0,0516	0,8111	0,1373
2	0,0856	0,6596	0,2548
3	0,1081	0,5368	0,3551
4	0,1228	0,4377	0,4495
8	0,1467	0,1945	0,6588
16	0,1524	0,0387	0,8089
32	0,1526	0,0016	0,8458

Bouguer hat bei seinen photometrischen Versuchen eine große Menge interessanter Resultate gefunden, die er in einem besonderen Werke bekannt gemacht hat, aus welchem wir hier einige der allgemein anwendbarsten entnehmen.

Zusammenstellung der Quantitäten Lichts, welche von der Oberfläche des Wassers unter verschiedenen Schiefen zurückgeworfen werden. Die einfallenden Strahlen = 1000.

Schiefen gegen die Oberfläche	Anzahl der zurückgeworfenen Strahlen	Schiefen gegen die Oberfläche	Anzahl der zurückgeworfenen Strahlen	Schiefen gegen die Oberfläche	Anzahl der zurückgeworfenen Strahlen	Schiefen gegen die Oberfläche	Anzahl der zurückgeworfenen Strahlen
0° 30′	721	5°	501	17° 30′	178	50°	22
1°	692	7° 20′	409	20°	145	60°	19
1° 30′	669	10°	333	25°	97	70°	18
2°	639	12° 30′	271	30°	65	80°	18
2° 30′	614	15°	211	40°	34	90°	18

Zusammenstellung der Quantitäten Lichts, welche von der ersten Oberfläche des, zur Verfertigung von Spiegeln dienenden, Glases zurückgeworfen werden. Die einfallenden Strahlen = 1000.

Schiefe des Einfallens gegen die Oberfläche	Anzahl der zurückgeworfenen Strahlen	Schiefe des Einfallens gegen die Oberfläche	Anzahl der zurückgeworfenen Strahlen	Schiefe des Einfallens gegen die Oberfläche	Anzahl der zurückgeworfenen Strahlen
2° 30′	584	15°	299	50°	34
5°	543	20°	222	60°	27
7° 30′	474	25°	157	70°	25
10°	412	30°	112	80°	25
12° 30′	356	40°	57	90°	25

Zusammenstellung der Quantitäten Lichts, welche von polirtem schwarzen Marmor zurückgeworfen werden.

Winkel der auffallenden Strahlen mit der Oberfläche	Anzahl der zurückgeworfenen Strahlen von 1000
3° 35′	600
15°	156
30°	51
80°	23

Die Zurückwerfung unter dem Winkel von 30° 35′ war auf dem Marmor beinahe eben so stark als auf dem Quecksilber. Dies gilt für alle ebene Körper, wie sie immer beschaffen sein mögen. Sie besitzen sämmtlich ein sehr gutes Zurückwerfungsvermögen, wenn die Strahlen unter sehr kleinen Winkeln gegen die Oberfläche einfallen. Allein dies Vermögen nimmt mit der Erhebung der Strahlen und ihrer Näherung an das senkrechte Einfallen schnell ab. Hierin unterscheiden sie sich von den Körpern mit kräftigem Zurückwerfungsvermögen. Denn bei diesen erfährt die Intensität des zurückgeworfenen Lichtes bei den verschiedenen Schiefen des Einfallens nur sehr schwache Veränderungen. Auf dem Quecksilber und den Teleskop-Spiegeln z. B. übersteigt der gesammte Umfang dieser Veränderung kaum $^1/_8$ oder $^1/_9$ von 9° bis 90° des Einfallswinkels. Nun wirft nach Bouguer's Versuchen bei 21° Schiefe des Einfallens gegen die Oberfläche das Quecksilber ungefähr 637 Strahlen von 1000 zurück. Die Zurückwerfung auf seiner Oberfläche für alle andern Winkel kann somit bis ungefähr 700 steigen und bis 600 sich mindern. Dies Metall, welches vielleicht von allen Körpern das stärkste Zurückwerfungsvermögen besitzt, schluckt also doch noch mehr als das Viertheil des Lichtes ein, von welchem es getroffen wird, eine Verschluckung, die bei Körpern von schwächerem Zurückwerfungsvermögen noch weit beträchtlicher ist.

Ueber die Durchsichtigkeit verschiedener Körper oder genauer über die Schwächung des Lichts beim Durchgange durch verschiedene Mittel hat außer Bouguer und Lambert namentlich Rumford interessante Versuche angestellt. Zunächst suchte er die Schwächung, die das Licht in der Luft erleidet, zu ermitteln, fand aber, daß in den Entfernungen, in welchen er mittelst einer gewöhnlichen kleinen Lampe und einer hell leuchtenden Argand'schen Lampe Versuche anstellen konnte, der Widerstand der Luft gegen das Licht unmerklich sei. Um den Verlust beim Durchgange durch verschiedene Glasarten zu ermitteln, gebrauchte er zwei gleiche Argand'sche Lampen A und B, welche möglichst hell brannten. Sie wurden einander gegenüber vor das Photometer gestellt, jede in der Entfernung von 100 Zoll vom Felde des Photometers, und das Licht von B wurde zu gleicher Intensität mit dem von A gebracht. Dann wurde eine Scheibe feines, helles, gut polirtes Spiegelglas, 6 Zoll im Geviert, vertical auf ein Gestell in einem Rahmen vor die Lampe B, und zwar in einer Entfernung von 4 Fuß so gestellt, daß das Licht der Lampe senkrecht durch den Mittelpunkt der Scheibe gehen mußte, ehe es auf das Feld des Photometers fallen konnte. Hierdurch wurde das Licht der Lampe B bei seinem Durchgange durch das Glas vermindert und geschwächt.

Um nun den Betrag dieser Schwächung genau zu ermitteln, mußte er die

Lampe B dem Photometer näher bringen, bis das Licht derselben wieder mit dem directen Lichte der Lampe A im Gleichgewicht war; dies trat ein bei einer Entfernung von 90,2 Zoll. Es wurde also das Licht bei seinem Durchgange durch das Glas in dem Verhältnisse $100^2 : 90,2^2$ oder 1 : 0,8136 geschwächt; 0,1864 Theile des Lichtes gingen also durch Zerstreuung verloren. Rumford wiederholte diesen Versuch verschiedene Male und fand den Verlust des Lichtes bei seinem Durchgange durch diese Glastafel nach einem Mittel aus allen Versuchen = 0,1973 der darauf fallenden Lichtmenge; bei einer anderen Glasart = 0,1869 und durch beide zusammen = 0,3184. Bei einer anderen, dünneren Glastafel betrug der Verlust im Mittel 0,1813 und bei sehr dünnem und reinem, hellem weißen Fensterglase 0,1263.

Für das alltägliche Leben sind die photometrischen Untersuchungen von einem großen Werthe, indem sie uns Aufschluß darüber geben, welche von den gebräuchlichen künstlichen Beleuchtungsarten, die wir anzuwenden gezwungen sind, die vortheilhafteste ist, d. h. welche bei den geringsten Kosten das hellste Licht spendet. Dergleichen Zusammenstellungen haben wir bereits in den Art. Gasbeleuchtung (Bd. III. S. 472) und Paraffin (S. 127) gegeben. Namentlich über das Leuchtgas sind seit jener Zeit mehrere photometrische Untersuchungen erschienen, aus denen wir einige Resultate hier nachtragen, da die Gasbeleuchtung auch bei uns in der jüngsten Zeit eine große Verbreitung gefunden hat und gerade die ökonomischen Verhältnisse beim Verbrauch des Gases, d. h. das Verhältniß der entwickelten Lichtmenge zu der verbrauchten Menge des Gases, bis jetzt, trotz ihrer großen Wichtigkeit, nur eine sehr geringe Beachtung gefunden haben. Büchner und Rückeisen *) wurden von dem Stadtvorstande zu Mainz beauftragt, die bei der dortigen Straßenbeleuchtung durch Gas erzeugte Lichtstärke zu prüfen. Hierbei ergaben sich in Bezug auf die Brenner verschiedene Thatsachen, die nicht ohne erhebliche Folge für den Gasverbrauch sind. Es stellte sich nämlich heraus, daß bei gleichem Gasverbrauch die Lichtstärke verschiedener Brenner, d. h. verschiedene Nummern ein und desselben Brenners, um das Vierfache zunahm. Die Ursache dieser so bedeutenden Verschiedenheit in der Lichtstärke hatte in Folgendem seinen Grund. Bei mehreren Nummern der sogenannten Fischschwanzbrenner trat bei vollständig geöffnetem Hahne der Brennröhre ein lebhaftes Flackern der Flamme ein. Wurde nun, um den richtigen Gasverbrauch und die von demselben bedingte Lichtstärke zu ermitteln, der Hahn so weit vorsichtig regulirt, bis das Flattern der Flamme aufhörte, so trat eben die bedeutende Verstärkung des Lichtes ein. Durch die angedeutete Regulirung des Hahnes wird die Oeffnung, durch welche das Gas in den Brenner einströmt, enger; in Folge dessen verliert das Gas in der Brennerröhre einen Theil des Druckes und gelangt also mit um so mehr vermindertem Drucke zur Verbrennung, je größer die Oeffnung des Brenners ist, und um so vollständiger findet dann die Verbrennung statt. Wohingegen bei denjenigen Brennern, deren Oeffnung nur so groß ist, daß bei vollständig geöffnetem Hahn ein Flattern der Flamme nicht eintritt, der Druck in der Brennerröhre bei demselben Gasverbrauch aber nicht bedeutend abnimmt, das Gas mit einer größeren

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVI. S. 369.

Geschwindigkeit ausströmt, wodurch ein Theil desselben nicht zur vollständigen Verbrennung gelangt, sondern gleichsam als kälterer Strom auf die Flamme einwirkt, ihre Temperatur herabstimmt und dadurch eine geringere Lichtstärke herbeiführt.

Im Allgemeinen läßt sich aus diesen Untersuchungen folgern, daß man besser thut, bei den sogenannten Schnitt- und Fischschwanzbrennern höhere Nummern, d. h. mit größeren Oeffnungen zu nehmen und die Stellung des Hahnes auf einen geringeren Gasverbrauch zu reguliren, als sich eines kleinen Brenners zu bedienen, der bei völlig geöffnetem Hahn dieselbe Gasmenge verzehrt. Wie bedeutend hier die Ersparniß, lehrt folgender Versuch. Die kleinste Sorte der Schnittbrenner (Nr. 00) verzehrte bei völlig geöffnetem Hahn 3,1 Cubikfuß Gas in der Stunde und lieferte eine Lichtstärke von 1,9 Wachskerzen. Als man nun, ohne sonst etwas zu verändern, über diesen Brenner einen Fischschwanzbrenner Nr. 5 setzte, erhielt man eine Flamme, die eine Lichtstärke von 5 Wachskerzen besaß; die Lichtstärke hatte sich also, obgleich der Gasverbrauch derselbe blieb, um mehr als das $2^1/_2$fache gesteigert.

Beim Argand'schen Brenner tritt dies Verhältniß nicht ein, weil die Flamme bei völlig geöffnetem Hahn so groß und wild erscheint, daß man von vornherein gezwungen ist, den Hahn so zu reguliren, daß das günstigste Licht erzielt wird. Und eben dadurch, also durch den verminderten Gasgebrauch wird die Vortrefflichkeit dieser Brenner bedingt. — Die gleichen Resultate fand Marr bei der Prüfung des Gases in Stuttgart *). Ein Straßenbrenner, der gewöhnlich in der Stunde 5 Cubikfuß Gas verbrannte, lieferte eine Lichtstärke von 7,5 Wachskerzen, also pro Stunde und Cubikfuß eine Lichtstärke von 1,5 Wachskerzen. Als er jedoch den Druck so verminderte, daß nur 2 Cubikfuß Gas in der Stunde verzehrt wurden, betrug die Lichtstärke 4,3 Wachskerzen, also pro Stunde und Cubikfuß 2,15 Wachskerzen. Auch er empfiehlt daher die Anwendung größerer Brenner, wobei man den Hahn nicht ganz, sondern nur theilweise öffnet.

Auch von Heeren sind mit dem Gase in Hannover sehr interessante Versuche über die Wirkung der verschiedenen Gasbrenner **) angestellt worden, die zu folgenden Resultaten führten. Die vortheilhafteste Benutzung des Gases findet statt bei dem Porzellan-Argand mit vielen kleinen Löchern (32 von 0,49^{mm} Weite), die in einem Kreise von 0,67 Zoll Durchmesser liegen, folglich 0,07 Zoll von einander entfernt. Solche Brenner von Porzellan werden in Berlin angefertigt. Diese Verwendung des Porzellans ist ein sehr glücklicher Gedanke und empfiehlt sich besonders bei kleinen Löchern, welche bei metallenen Brennern sich durch Schwefelung oder sonstige Corrosion bald verstopfen oder verändern, während Porzellan allen zerstörenden Einflüssen widersteht. Auch hinsichtlich der Intensität des Lichtes und des schönen Ansehens der Flamme übertrifft ein solcher Brenner den gewöhnlichen Argand bedeutend. Dies geht schon aus dem Umstande hervor, daß er trotz der kleineren Flamme von nur $3^1/_3$ Zoll Höhe, dennoch mehr Helligkeit (im Verhältniß von 3,76 : 3,22) entwickelt, als der gewöhnliche Argand mit einer $5^1/_2$ Zoll hohen Flamme. Die unvortheilhafteste Benutzung des Gases gewährt der kleine Fischschwanzbrenner Nr. 2.

---

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 49.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 36.

Die Resultate seiner Untersuchungen hat Heeren in folgender Tabelle über das Preisverhältniß von Gas, Oel und Talg bei gleicher Helligkeit der verschiedenen Gasbrenner zusammengestellt. In Hannover kosten 1000 Cubikfuß Gas $1^2/_3$ Thlr., das Pfund Oel 5 Sgr. 7 Pfg. und das Pfund Talglichte $7^1/_2$ Sgr.

Reihenfolge der Gasbrenner nach abnehmender Nutzbarkeit	Talg in Granen, welche 1 Cubikfuß Gas entsprechen	Preis von Gas : Oel	Preis von Gas : Talg
Porzellanargand mit 32 Löchern, Flamme $3^1/_3$ Zoll hoch . . .	303	1 : 2,94	1 : 5,46
Gewöhnlicher Argand, mit 12 Löchern, Flamme $5^1/_2$ Zoll hoch .	270	1 : 2,63	1 : 5,06
Fledermausbrenner mit weitem Einschnitt, Flamme $2^1/_2$" hoch, $3^1/_2$" breit	238	1 : 2,31	1 : 4,46
Fischschwanzbrenner Nr. 5, Flamme $2^2/_3$ Zoll hoch, $2^1/_2$ Zoll breit	211	1 : 2,05	1 : 3,96
Schottischer Fischschwanzbrenner, Flamme $4^3/_4$ Zoll hoch, $^5/_8$ Zoll breit	206	1 : 2,00	1 : 3,86
Fischschwanzbrenner Nr. 4, Flamme $2^1/_2$ Zoll hoch, $2^1/_2$ Zoll breit	189	1 : 1,83	1 : 3,54
Fledermausbrenner, mit engem Einschnitt, Flamme $2^1/_6$ Zoll hoch, $4^1/_6$ Zoll breit	183	1 : 1,77	1 : 3,42
Dreilochbrenner, Flamme 4 Zoll hoch	142	1 : 1,38	1 : 2,66
Fischschwanzbrenner Nr. 3, Flamme 2 Zoll hoch, $1^3/_4$ Zoll breit .	123	1 : 1,19	1 : 2,30
Fischschwanzbrenner Nr. 2, Flamme $1^7/_8$ Zoll hoch, $1^3/_8$ Zoll breit	101	1 : 1,00	1 : 1,90

Das bayersche Handelsministerium fand sich veranlaßt eine Commission zur Entscheidung der Frage über die Leuchtkraft des Holzgases im Vergleich zu der des Steinkohlengases niederzusetzen, deren Experten Liebig und Steinheil waren. Aus ihren Untersuchungen *) ergiebt sich für einen Consum von $4^1/_2$ engl. Cubikfuß pro Stunde

Münchener Steinkohlengas = 10,84 Münchener Normalwachslichter
Bayreuther Holzgas = 12,92 " "

Demnach ist das Verhältniß der Leuchtkraft beider Gasarten durchschnittlich:

Holzgas = 6
Steinkohlengas = 5.

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXV. S. 54.

Riediger hat *) das Coburger Holzgas auf seine Leuchtkraft untersucht und giebt darüber folgende Zusammenstellung:

Normalkerzen . . .	5	10	14	16	18
Münchener Steinkohlengas, Cubikfuß . .	2,55	4,08	5,01	5,90	6,66
Coburger Holzgas . .	1,70	2,70	3,70	3,97	4,30
Das Licht kostet in München (1000 Cubikfuß Steinkohlengas = 3 Thlr. 12 Sgr. 10,29 Pfg.) . .	3,154 Pfg.	5,038 Pfg.	6,394 Pfg.	7,337 Pfg	8,229 Pfg.
In Coburg (1000 Cubikfuß Holzgas = 4 Thlr)	2,4 Pfg.	3,874 Pfg.	5,314 Pfg.	5,725 Pfg.	6,171 Pfg.
Unterschied des Preises zu Gunsten des Holzgases	24 Proc.	23 Proc.	17 Proc.	22 Proc.	25 Proc.

Foucault hat die Leuchtkraft des in der Gasanstalt im Boulevard de Strasbourg zu Paris bereiteten Torfgases bestimmt und mit der des Steinkohlengases verglichen **). Das Torfgas ist ein Gemisch des bei der trockenen Destillation des Torfes entstehenden, sehr wenig leuchtenden Gases mit dem durch Zersetzung des Torföles bereiteten. Da das Steinkohlengas und Torfgas ungleiche Dichtigkeiten besitzen, so ist, wenn sie durch denselben Brenner ausströmen, offenbar der Verbrauch nicht derselbe; es wird ein geringeres Volumen Torfgas austreten. Beide Volumina wurden gleich, wenn das Torfgas einen um 6mm größeren Druck zu erleiden hatte. Als Regel muß man bei Vergleichung des Leuchtvermögens nicht Gleichheit des Druckes, sondern Gleichheit des verbrannten Volumens annehmen.

Das mittlere Leuchtvermögen des Torfgases, nach dem Babinet'schen Photometer bestimmt, und das des Pariser Steinkohlengases zu 100 angenommen, ist: 1) bei gleichem Drucke 149, 172, 136, 212; im Mittel 167. 2) Bei verbrauchtem gleichen Volumen 169, 269; im Mittel: 209. Mit dem Vergleichungsphotometer ergab sich die mittlere Intensität bei gleichem Drucke zu 278, bei gleichem Volumen zu 331. Der Brenner mit Torfgas lieferte ein Licht von $23^1/_4$ Kerzen und derselbe Brenner, mit Steinkohlengas gespeist, ein solches von nur $6^3/_{10}$ Kerzen; das ist ein Verhältniß von 342 : 100. Im Verlauf von zwei Wochen ergab das Torfgas beständig eine größere Leuchtkraft als das Steinkohlengas und zwar in einem wandelbaren Verhältniß von $1^1/_2$ bis 3.

Das aus dem Torföl bereitete Gas ergab ein Leuchtvermögen: 1) bei gleichem Druck im Mittel 705 und 2) bei gleichem Volumen 756.

Chevalier liefert einen interessanten Bericht ***) über die Kosten des Steinkohlengases und Torfgases zu Paris. Die Gestehungskosten eines Cubik-

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXV. S. 58.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 56.
***) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVI. S. 53.

meters Steinkohlengas betragen $15^1/_2$ Cent., also für 1000 Cubikfuß 1 Thlr. $8^1/_3$ Sgr., der Verkaufspreis beläuft sich pro Cubikmeter auf 22 Cent., also für 1000 Cubikfuß auf 1 Thlr. $24^2/_5$ Sgr. $1176^1/_5$ Mill. Cubikfuß, der jährliche Gewinn der Gasanstalten, belaufen sich demnach auf 630,000 Thlr. 100 Kilogramm Torf (213,8 Pfund), die in Paris $1^1/_2$ Frc. (12 Sgr.) kosten, liefern 32 Cubikmeter Gas ($970^1/_2$ Cubikfuß). Durch den Werth der zurückbleibenden Torfkohle stellen sich die Gestehungskosten eines Cubikmeters Torfgas auf $1^9/_{10}$ Cent. oder für 1000 Cubikfuß auf $4^7/_{10}$ Sgr.

Bei der Anfertigung der Lichtbilder ist es für den weniger Geübten von Wichtigkeit, die Intensität des Lichtes festzustellen, da hiervon die Zeit abhängt, während welcher die Platte in der Camera obscura zu bleiben hat. Wegen der hier gebräuchlichen Methoden verweisen wir auf den Art. Photographie.

Nach Pouillet *) sind die Daguerre'schen Platten geeignet, das Beleuchtungsvermögen verschiedener Farben zu vergleichen, z. B. zu finden, ob ein rother Stoff mehr oder weniger Licht zurücksende als ein blauer oder sonst wie gefärbter, sobald beide vom Himmelslicht oder von anderen farbigen Lichtern beleuchtet werden, und selbst mit gewisser Annäherung die relativen Mengen dieser verschiedenen Lichter, gemessen durch ihre Wirkung auf das Auge, zu bestimmen. Diese Methode besteht darin, daß man auf das Daguerre'sche Bild nur ein Licht von bekannter Intensität fallen läßt, und zwar stets von etwas großer, damit man durch Vergleich das diffuse Licht vernachlässigen könne, welches aus den verschiedenen dem Versuch unterworfenen Gegenständen entspringt. Es reicht hin, die Platte mit einem schwarzen Papier zu bedecken, bis auf einen kleinen Raum von 1 bis 2 Centimeter, den man zum Versuch aufspart, sie dann senkrecht an der einen Wand einer schwarzen quadratischen Kammer von 3 bis 4 Decimeter Seite und 1 bis 2 Decimeter Höhe aufzustellen und in der gegenüberstehenden Wand drei Löcher zu machen: eins in der Mitte, um die Platte fast senkrecht durch eine Carcel'sche Lampe zu beleuchten, deren Abstand man ändern kann, um verschiedene Intensitäten von bekanntem Verhältniß zu haben; von den beiden anderen, in gleichem Abstand von dem ersteren, dient das eine zum Durchgang des direct reflectirten, so wie des an den weißen Stellen diffundirten Lichtes; und vor diese letzte Oeffnung bringt man bei der Beobachtung das Auge. Es hat hier durchaus keine Schwierigkeit, der Platte eine kleine Bewegung um eine horizontale Axe zu geben, um successive die beiden in 3 bis 4 Meter Entfernung vertical unter einander aufgestellten Gegenstände zur Ansicht zu bringen; übrigens hindert nichts sie näher zu bringen, sobald man die gehörigen Vorsichtsmaßregeln getroffen hat, damit die Verschiebungen der Lampe das natürliche Tageslicht, welches sie erhellt, nicht modificiren. Der ganze Versuch reducirt sich darauf, daß man successive der Lampe die beiden Stellungen giebt, die erforderlich sind, um die beiden Gegenstände einen um den anderen ins Gleichgewicht zu bringen. Verfährt man auf diese Art, so verhalten sich die Beleuchtungsvermögen der Probegegenstände umgekehrt wie die Quadrate der Abstände der Lampen. W. B.

*) Compt. rend. T. XXXV. p. 373. Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 490.

Physik. Das Verhältniß der Physik zur Naturwissenschaft überhaupt und die verschiedenen Methoden der Forschung, welche in derselben zur Anwendung kommen, sind im Art. Naturwissenschaft charakterisirt. Es bleibt uns hier nur noch übrig, einige historische und literarische Notizen zu geben, die jedoch um so kürzer ausfallen können, als in den Artikeln, welche die verschiedenen physikalischen Disciplinen behandeln, sowohl das Geschichtliche als auch insbesondere die Litteratur eine dem Zwecke dieses Werkes angemessene Berücksichtigung finden. Die Geschichte der Physik steht überdies mit der Geschichte der Astronomie und Chemie in Beziehung, weshalb wir hier zugleich auf die Art. Astronomie und Chemie verweisen.

Es fehlt nicht an historischen Thatsachen, die entschieden dafür sprechen, daß unter den ältesten der uns bekannten Culturvölker vorzugsweise die Aegyptier selbstständig zu dem Besitze gewisser naturwissenschaftlicher Kenntnisse gelangten; doch läßt sich über den Grad ihrer naturwissenschaftlichen Bildung, die nur das Eigenthum einzelner Kasten war, keineswegs mit einiger Sicherheit urtheilen. Die Phönicier und Karthager hatten ebenfalls einige, wenn auch vielleicht nur unbedeutende Naturkenntnisse, die sich zum Theil auf Gegenstände der Chemie bezogen. Außerdem sind noch die Chaldäer und Indier zu nennen. Namentlich den letzteren glaubte man einen höheren Grad naturwissenschaftlicher Einsicht zuschreiben zu müssen; indessen haben genauere Nachforschungen dafür keine ausreichenden historischen Belege gebracht.

Obwohl die Griechen mancherlei Kenntnisse von Außen her empfingen, so ist es doch nicht zu verkennen, daß sich dieselben in hohem Grade einem selbstständigen Nachdenken über den Zusammenhang der natürlichen Dinge hingaben, und gewiß würde dieses Nachdenken auch bald nachhaltigere, bleibende Früchte gebracht haben, wenn dasselbe von einer festeren und breiteren empirischen Basis ausgegangen wäre (s. d. Art. Materie).

Die Römer, anderen Interessen zugewandt, nahmen zwar griechische Wissenschaft auf, aber ohne bedeutenden Erfolg für die Naturkunde, so daß nur wenige Männer unter ihnen in dieser Beziehung namhaft geworden sind.

Im Verlaufe einer barbarischen Zeit fanden aber die Wissenschaften, namentlich Mathematik und Astronomie, Schutz und Pflege bei den Arabern. In Bezug auf Physik sind unter ihnen Alhazen (812) und Ebn-Junis (starb 1080) zu nennen. Jener lieferte eine Arbeit über die Strahlenbrechung, dieser benutzte zuerst das Pendel zur Zeitmessung. Auch verbreiteten die Araber die von ihnen gepflegten Wissenschaften weiter, so unter anderen nach dem westlichen Europa.

Im Mittelalter begegnen wir unter den Europäern Albertus Magnus (st. 1280) und Roger Baco (1214 bis 1294), der jenen wie auch seine Vorgänger an Scharfsinn und Tiefe der Kenntnisse weit übertroffen haben soll. Das Mittelalter war auf dem Gebiete der Physik nichts weniger als productiv, wiewohl man einzelnen ungewöhnlichen Naturerscheinungen seine Aufmerksamkeit zuwandte. Besser stand es um die Mathematik. Hinderlich auf die Entwickelung der Naturwissenschaft wirkte namentlich auch die Aristotelische Philosophie, der man fast unbedingt huldigte, so daß die Physik bis gegen die Mitte des 17. Jahrhunderts meist nach Aristoteles bearbeitet wurde, obgleich schon Bernh. Tilesius aus Cosenza (1508 bis 1588) die Schwächen der Aristotelischen Physik zum Theil

nachgewiesen hatte. — Franziscus Bacon von Verulam (1560 bis 1626) machte wiederholt auf den Vortheil aufmerksam, den die Erfahrung, als Grundlage der Naturforschung, dieser letzteren gewähren müsse. Doch erst Galileo de Galiläi aus Pisa (1564 bis 1642) wußte den Weg der Erfahrung im richtigen Sinne zu betreten, und er und seine Schüler erhellten und erweiterten durch ein auf Erfahrung gestütztes Denken den physikalischen Gesichtskreis um ein Beträchtliches. Auch fiel in diese Zeit die Erfindung des Fernrohres, des Mikroskops und des Barometers, während Keppler (1571 bis 1630) auf ähnliche Weise die Astronomie reformirte. Auch die philosophische Speculation blieb nicht unthätig; namentlich war es das System des Renatus Cartesius (1596 bis 1650), welches auf die Physik einen beträchtlichen Einfluß übte.

Die von Galilăi und seinen Schülern neu begründete Naturlehre wurde durch Huyghens bedeutend erweitert. Endlich begann mit Isaak Newton (1642 bis 1727) eine neue Periode; derselbe stellte gewisse allgemeine Maximen der Naturforschung auf, und seine empirisch-mathematische Methode wird noch jetzt mit Erfolg angewendet.

In Deutschland wirkte der Ausbildung einer gesunden, auf das Erfahrungsmäßig-Gegebene gestützten, Naturphilosophie eine Zeitlang eine sogenannte, namentlich von Schelling begründete, Naturphilosophie entgegen, die ohne Respect vor dem Thatsächlichen alle Erscheinungen aus einem einzigen vorausgesetzten Princip, das der phantastischen Willkür einen großen Spielraum bot, a priori zu construiren suchte. Die Naturwissenschaft ist freilich mehr als eine bloße Summe empirischer Einzelheiten; sie strebt nach einer Erkenntniß des inneren Zusammenhanges der Erscheinungen, und kann in dieser Beziehung auch Naturphilosophie genannt werden. Allein dieses Ziel kann sie nur dadurch erreichen, daß sie die erfahrungsmäßig erzeugten Begriffe sichtet, ordnet, ergänzt, und als Prämissen zu neuen Schlußfolgerungen benutzt, um ein Wissen zu gewinnen, das, frei von leeren Phantasiegebilden, Rechenschaft von den wirklichen Bedingungen der Naturerscheinungen zu geben vermag. (Vergl. d. Art. Naturwissenschaft.)

Mit dieser kurzen und allgemeinen historischen Uebersicht müssen wir uns hier begnügen *). Die Begründer und Erweiterer der verschiedenen physikalischen Disciplinen sind in den betreffenden Artikeln angeführt.

Man pflegt die Physik, welche die im Art. Naturwissenschaft bezeichneten Gegenstände umfaßt, wohl auch in reine und angewandte einzutheilen. Die erstere strebt aus den Erscheinungen durch Beobachtungen, Versuche und Schlüsse die verschiedenen besonderen und allgemeinen physikalischen Gesetze festzustellen, und dann auch weiter vermittelst gewisser geistiger Operationen diese Gesetze zu erklären oder die Bedingungen der physikalischen Erscheinungen anzugeben. Die angewandte Physik benutzt dagegen die bereits gefundenen Gesetze, um die Erschei-

*) In historischer Hinsicht sind zu erwähnen: Geschichte der Physik seit der Wiederherstellung der Künste und Wissenschaften bis auf die neuesten Zeiten von J. C. Fischer, Göttingen 1801 — 1808. 8 Bände. — Geschichte der inductiven Wissenschaften: der Astronomie, Physik, Mechanik, Chemie, Geologie 2c. von der frühesten bis zu unserer Zeit. Nach dem Englischen des W. Whewell mit Anmerkungen von J. J. v. Littrow. Stuttgart 1840. 3 Th.

nungen der Natur im Großen zu erklären. Man rechnet zu ihr die Astronomie, insofern sie die Gesetze der Schwere auf die Bewegung der Himmelskörper anwendet, die physikalische Geographie (s. d. Art.) und die Meteorologie (s. d. Art.).

Was die Literatur der Physik betrifft, so haben wir hier vorerst zu bemerken, daß die verschiedenen Zeitschriften, welche die Physik zu ihrem Gegenstande haben, auch meist die Chemie umfassen, und daß daher fast alle Zeitschriften, die im Art. Chemie, Bd. I. S. 953 angeführt sind, auch für die Physik in Betracht kommen. Ergänzend fügen wir hier noch hinzu: Grunert's Archiv für Mathematik und Physik, Fechner's Repertorium der Experimentalphysik, Dove's Repertorium der Physik, Liebig's und Kopp's Jahresberichte über die Fortschritte der Physik, Chemie und Mineralogie (Fortsetzung der Jahresberichte von Berzelius), J. Müller's Jahresbericht über die Fortschritte der Physik, die Berichte der physikalischen Gesellschaft in Berlin, red. von Krönig, Zeitschrift für Mathematik und Physik von O. Schlömilch und B. Witzschell; Archiv. de scienc. phys. etc. par de la Rive; Cosmos par Moigno.

Die ältere Literatur der Physik, namentlich auch die Lehr- und Wörterbücher, findet man zusammengestellt in Gehler's neu bearbeitetem phys. Wörterbuche (1825 bis 1844), Bd. VIII. S. 548. Bezüglich der Wörterbücher erwähnen wir hier noch das Handwörterbuch der Chemie und Physik von August 2c. 3. Bd. Berlin (1842 bis 1850), mit einigen, namentlich die Chemie betreffenden Ergänzungen von R. Wagner (1850). — Eine allgemeine Encyklopädie der Physik, herausgegeben von G. Karsten, erscheint dermalen im Verlage von Voß (in Leipzig).

Von Lehrbüchern und dergleichen führen wir hier, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, folgende auf.

E. G. Fischer, mechanische Naturlehre. 4. Aufl. von August 1842.

Scholz, Anfangsgründe der Physik, von Schrötter neu herausgegeben 1839.

Kämtz, Lehrbuch der Experimentalphysik. Halle 1839.

G. Suckow, System der Physik mit Beziehung auf Künste und Gewerbe. Darmstadt 1840.

Despretz, Traité etc. 6me ed. Brux. 1840.

Lamé, Cours de Physique. Par. 1837.

Lamé, Lehrbuch der Physik für höhere polytechnische Lehranstalten, deutsch bearbeitet und mit Zusätzen versehen von L. H. Schnuse, 3 Bde. Darmstadt 1838 bis 1841.

Muncke, erste Elemente der Naturlehre. 4. Aufl. 1842.

H. W. Brandes, Vorlesungen u. s. w., 2. Aufl., herausgegeben von C. W. H. Brandes und W. J. H. Michaelis. 1844.

Becquerel, Traité de Physique considérée dans ses rapports avec la Chemie et les sciences naturelles. T. I. Par. 1842. T. II. Par. 1844.

Becquerel, populäre Naturlehre mit besonderer Rücksicht auf die Chemie und verwandte Wissenschaften von G. Kißling. 1. bis 9. Theil. Stuttgart 1845.

Baumgartner, Naturlehre. 8. Aufl. Wien 1844 (mit v. Ettingshausen herausgegeben).

Pouillet, Élémens de physique et météorologie. 4me ed. Par. 1844.

Pouillet-Müller, Lehrbuch der Physik und Meteorologie, nach Pouillet's Lehrbuch der Physik selbstständig bearbeitet von Joh. Müller, 5. Aufl. Braunschweig 1856.

Joh. Müller, Kosmische Physik. Braunschweig 1856.

A. Fick, medicinische Physik. Braunschweig 1856.

H. Buff, Grundzüge der Experimentalphysik mit Rücksicht auf Chemie und Pharmacie. Heidelberg 1843 und 1844.

Euler, Briefe über Physik. 1846.

Hankel, Grundriß der Physik. Stuttgart 1848.

C. S. Cornelius, die Naturlehre nach ihrem jetzigen Standpunkte mit Rücksicht auf den inneren Zusammenhang der Erscheinungen. Leipzig 1849.

Oersted, mechanischer Theil der Naturlehre. Braunschweig 1851.

Eisenlohr, Lehrbuch der Physik zum Gebrauche bei Vorlesungen und zum Selbstunterrichte. 7. verb. Aufl. Stuttgart 1857.

v. Ettingshausen, Anfangsgründe der Physik. 3. Aufl. Wien 1853.

Crüger, Schule der Physik, auf einfache Experimente gegründet, für Schule und Haus 2c. 3. Aufl. Erfurt 1855.

B. Witzschel, die Physik faßlich dargestellt nach ihrem neuesten Standpunkte. Leipzig 1854.

G. v. Quintus Icilius, Experimentalphysik. Ein Leitfaden. Hannover 1855.

Frick, die physikalische Technik oder Anleitung zur Anstellung von physikalischen Versuchen und zur Herstellung von physikalischen Apparaten mit möglichst einfachen Mitteln. 2. Aufl. Braunschweig 1856.

H. Emsmann, physikalische Aufgaben nebst ihrer Auflösung. Eine Sammlung zum Gebrauche auf höheren Unterrichtsanstalten und beim Selbstunterrichte. Leipzig 1852.

Fliedner, Aufgaben aus der Physik nebst ihren Auflösungen und einigen Anhängen, physikalische Tabellen enthaltend. 2. Aufl. Braunschweig 1856.

Bary, neue physikalische Probleme, theils übersetzt, theils mit besonderen Lösungen versehen von Korschel. Halle 1857.

Zur physikalischen Geographie *) und Meteorologie.

Parrot, Physik der Erde. 1815.

v. Hochstetter, allgemeine physikalische Erdbeschreibung. 1820.

Sommer, Gemälde der physischen Welt. 1828 bis 1843.

Muncke, Handbuch der mathematischen und physikalischen Geographie nebst Atmosphärologie. 1830.

E. Schmidt, Lehrbuch der math. und phys. Geographie. 1830.

Raumer, Lehrbuch der allgem. Geographie. 1835.

H. Berghaus, allgemeine Länder- und Völkerkunde. 1837.

H. Berghaus, physikalischer Atlas. 1838.

F. Hoffmann, physik. Geographie. 1837.

Bronn, Geschichte der Natur. 1842.

V. Hoff, Geschichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche. 1822.

---

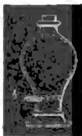
*) Vollst. Lit. in Bibliotheca geographica. Leipzig 1857.

Leonhard, populäre Geologie oder Naturgeschichte der Erde. 1836.
d'Aubuisson des Voisins, traité de géognosie, red. par Burat, 1828.
Lecoq, élémens de Géologie et d'Hydrographie. 1838.
Lyell, principles of geology, 6. ed. 1840.
Lyell, elem. of geology, 2. ed. 1841.
De la Beche, geological manual. 1838.
Rivière, Annales de sciences géologiques. 1842.
Meyer, Vers. einer astron. und phys. Geogr. 1847.
Studer, Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie. Bern 1844 bis 1847. 2 Th.
H. Berghaus, Grundlinien der physikalischen Erdbeschreibung für die reifere Jugend, den Bürgers- und Landmann. 2. (Titel-) Ausg. Stuttgart 1847. 1856.
Wittwer, die physikalische Geographie, faßlich dargestellt. Leipzig 1855.
C. S. Cornelius, Grundriß der physikalischen Geographie (mit Einschluß der Meteorologie) für höhere Unterrichtsanstalten und zum Selbstunterricht. 2. verb. Aufl. Halle 1856.
Buff, zur Physik der Erde. Braunschweig 1851.
v. Teichmann, Physik der Erde. 1854.
Brandes, Beiträge zur Witterungskunde. 1820.
Daniel, meteorolog. essays. 1823.
Schouw, Beiträge zur vergleichenden Klimatologie. 1827.
Schübler, Grundsätze der Meteorologie. 1831.
Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie. 1831 bis 1836.
Kämtz, Vorlesungen über Meteorologie. 1840.
Dove, meteorologische Untersuchungen. 1837.
Forbes, report on meteorology, 1833, übersetzt und ergänzt von Mahlmann, 1836; suppl. report. 1841.
Dove, die Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche rc. Berlin 1852.
Dove, Darstellung der Wärmeerscheinungen durch fünftägige Mittel von 1782 bis 1855.
Dove, die Verbreitung der Wärme auf der nördl. Hemisphäre. Berlin 1855.

Die sonstige auf Meteorologie bezügliche Literatur findet sich in den betreffenden Artikeln dieses Werkes.

Piezometer, s. Zusammendrückbarkeit flüssiger Körper.

Pistole, elektrische, Knallpistole, Donnerbüchse ist ein in Gestalt einer Pistole oder kleinen Kanone gebrachtes Gefäß, welches mit explodirender Luft gefüllt und mit einem Stöpsel verschlossen wird. Mittelst des elektrischen Funkens wird die Knallluft im Innern des Gefäßes entzündet, welche nun explodirt und mit einem starken Knalle die Luft heraustreibt. Nebenstehende Figur stellt einen solchen Apparat vor. Das Gefäß ist ziemlich stark und gewöhnlich von Metall. Seitwärts ist am Boden eine Glasröhre eingekittet, welche einen Metalldraht enthält, der an seinen beiden Enden mit Metallkugeln versehen ist und dessen innere Kugel einer anderen kleinen Metallkugel in geringer Entfernung gegenüber steht. Hat man nur eine mit Wasserstoffgas gefüllte Flasche, so hält man die Donnerbüchse mit ihrer geöffneten Mündung einige Secunden über die geöffnete Wasserstoffgasflasche. Das Gas steigt in der



Büchse auf und mischt sich mit der darin enthaltenen atmosphärischen Luft zu Knallgas. Hierauf treibt man den Korkstöpsel in die Oeffnung der Büchse, und läßt zwischen b und dem Deckel eines Elektrophors oder einer kleinen Leidner Flasche einen Funken überspringen; sogleich springt auch ein Funke zwischen den Kugeln im Innern des Gefäßes über und die Explosion erfolgt. Hat man zuviel Wasserstoffgas in das Gefäß gelassen, so detonirt es nicht, man nimmt dann den Stöpsel heraus und treibt durch einige Schläge mit flacher Hand auf die Mündung der Pistole einige atmosphärische Luft hinein, verkorkt wieder und wiederholt den Versuch. Hierbei geschieht die Bereitung der Knallluft nur auf sehr oberflächliche Weise. Man hat daher Apparate ausgedacht, bei welchen die Vermischung der atmosphärischen Luft mit dem Wasserstoffgas genau nach dem gehörigen Verhältniß (5:2) vorgenommen werden kann, oder wo vorher bereitete Knallluft eingefüllt wird. Bei Versuchen in dieser Beziehung fand Ingenhouß, daß die Dünste des Schwefeläthers, der atmosphärischen Luft oder dem Sauerstoffgase beigemischt, eine noch weit stärkere explodirende Luft gaben, als ein bloßes Gemisch von Wasserstoff- und Sauerstoffgas. Starke Instrumente wurden bei der Explosion zertrümmert, nicht ohne Gefahr für die Umstehenden.

Schon Watson wußte *), daß die Luft mit brennbaren Dünsten vermischt durch den elektrischen Funken entzündet werden kann. Später kam dann Volta **) selbstständig auf die Anwendung des elektrischen Funkens zur Entzündung von Knallluft in besonderen Geräthschaften. Ingenhouß ***) gab der einfachen Knallpistole eine etwas zusammengesetztere Einrichtung; Pickel erfand aber eine zum Geschwindschießen bequem eingerichtete Pistole, bei welcher auch, um die Gefahr des Zerspringens zu verhüten, auf eine hinlängliche Dicke der Wände Rücksicht genommen war. Auch hat man gläserne Vorrichtungen dieser Art construirt ****). — Weber beschrieb *****) eine elektrische Kanone und Wißhofer †) eine elektrische Flinte.

Pickels Pistole ist folgendermaßen eingerichtet. Ihr Körper ist cylindrisch, an einem Ende in eine Kugel ausgehend, und faßt 14 Cubikzoll Luft. Es paßt ein Stempel darein, durch dessen Stange ein Kanal der ganzen Länge nach durchgebohrt ist; ein Maßstab auf der Stange zeigt, wie viele Cubikzolle der durch die Zurückziehung entstandene Raum faßt. Der Kanal des Stempels hat einen Hahn, und daran kann eine mit Knallluft gefüllte Blase geschraubt werden. Zieht man nun bei geöffnetem Hahne den Stempel zurück, so tritt so viel Knallluft, als der Maßstab anzeigt, aus der Blase in der Körper der Pistole. Durch die Seitenwand dieses Körpers ist ein Stück Messing eingeschraubt, durch welches ein Messingdraht in einer Glasröhre isolirt und auswendig in einen Knopf endigend

*) Phil. Trans. T. XLIII. p. 495.

**) Collezione dell' opere del Cavalieri Conte Allessandro Volta. Firenze 1816. T. III. p. 133. Auch in drei Briefen an Castelli über die entzündbare Luft der Sümpfe nebst drei anderen Briefen, aus dem Italienischen von Köstlin. Stuttgart 1778.

***) Phil. Trans. T. LXIX. P. II. p. 410. Cavallo, Abhandlung über die Natur und Eigenschaften der Luft. Leipzig 1783. S. 277.

****) Schäfer, Abbildung und Beschreibung der elektrischen Pistole. Regensburg 1779. Weber, Abhandlung vom Luftelektrophor. Ulm 1779.

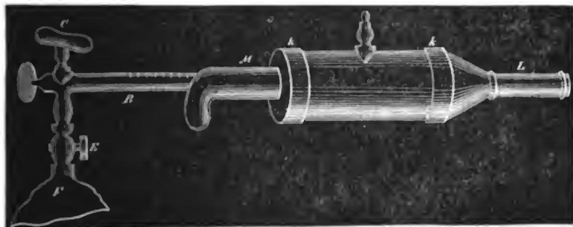
*****) Abhandlung vom Luftelektrophor. S. 87.

†) Beschreibung einer elektrischen Flinte. Salzburg 1780.

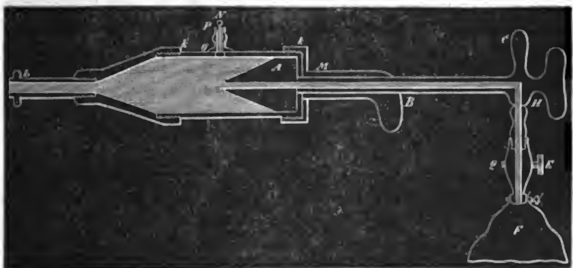
hindurchgeht. Dieses Drahtes inneres Ende biegt sich gegen das Metall der Pistole, darf aber dem Gange des Stempels nicht im Wege stehen, was nur bei einer bedeutenden Dicke der Wandungen der Pistole ausführbar ist. Ist der Körper der Pistole mit Knallgas gefüllt, so wird der Hahn geschlossen, und der Knopf des Drahtes mit dem abgehobenen Deckel eines Elektrophors oder dem Knopfe einer geladenen Flasche berührt. Nach dem ersten Abfeuern wird der Stempel wieder hineingestoßen, eine neue Kugel oder ein Korkstöpsel vorgelegt, der Hahn geöffnet und der Körper der Pistole durch Zurückziehen des Stempels aufs neue geladen, worauf man den Hahn wieder schließt und zum zweiten Male abfeuert. So kann man in einer Minute 8 bis 10 Schüsse thun. Hat man in der Blase brennbare Luft, die man in einem gegebenen Verhältnisse mit gemeiner mischen will, so dient dazu der Maßstab. Der Stempel wird noch vor Einbringung der Kugel oder des Korkstöpsels bei geschlossenem Hahne bis auf den gehörigen Grad zurückgezogen, wodurch sich der nöthige Raum mit gemeiner Luft füllt. Verstopft man alsdann die Mündung der Pistole mit einem Stöpsel, öffnet den Hahn und zieht den Stempel völlig zurück, so kommt der erforderliche Theil brennbarer Luft aus der Blase hinzu. Zur Abbrennung des Aetherdunstes mit atmosphärischer Luft oder mit Sauerstoff hat Ingenhouß im vorderen conischen Theile des Stempels eine kleine durchlöcherte Kammer angebracht, in die ein Stückchen Schwamm, mit Hofmann's Liquor oder mit Schwefeläther getränkt, eingelegt wird. Durch diese Kammer muß die gemeine Luft oder das Sauerstoffgas, für welchen Fall man vorher eine damit gefüllte Blase an den hinteren Hahn der Pistole angeschraubt hat, beim Zurückziehen des Stempels durchstreichen und nimmt dann den Dunst in sich auf. Nimmt man hierbei Sauerstoffgas, so wird der Knall dem Gehöre fast unerträglich und die Explosion so heftig, daß man von der Haltbarkeit der Pistole sehr gewiß versichert sein muß. Zur Entzündung dieser Art von Knallluft ist indessen ein etwas stärkerer Funken nöthig, am besten aus einer kleinen, aber stark geladenen Leidner Flasche. — Aus der umstehenden Fig. I. erhält man leicht eine Uebersicht der äußeren Gestalt des Apparates, der innere Bau seiner Theile aber wird am besten aus der Darstellung des Durchschnitts (s. Fig. II.) erkannt. Der Körper desselben ist ein starker Cylinder kk von gegossenem Messing oder Kanonenmetall, welcher vorn in einen Kegel endigt, der mittelst einer starken Schraube an dem Cylinder hält, übrigens aber auch angelöthet werden könnte. Die Mündung dieser Pistole ist sehr weit, damit man einen dicken Stöpsel einkeilen kann. Will man mit einer Kugel schießen, so schraubt man einen engeren Lauf an. Der Stempel A läuft, um sich an den vorderen Theil der Pistole genau anzulegen, in einen Kegel aus. Der walzenförmige Theil des Stempels, der an die inneren Wände der Pistole andrückt, ist mit einem gut ausgesuchten und genau nach der Höhle der Pistole gearbeiteten Korke versehen. Der vordere conische Theil des Stempels hat eine kleine Kammer oder Höhle, die man öffnen kann, wenn man die Platte, welche die Spitze des abgeschnittenen Kegels macht, abschraubt. Diese Kammer dient dazu, um einen mit Aether, Hofmann'schen Tropfen oder einer anderen leicht verdunstbaren und brennbarer Flüssigkeit getränkten Schwamm aufzunehmen, und hat seitwärts eine kleine Oeffnung, durch welche die Luft und mit dieser die Dünste in die Höhle der Pistole übergehen können. Der Stempel A ist an der messingenen Stange oder Handhabe B befestigt, durch deren Mitte ein ziemlich weiter Kanal hinläuft, der

auch im Stempel sich bis zu dessen vorderer Kammer fortsetzt. Dieser Kanal unterhält eine Gemeinschaft mit dem Hahne C, wenn dieser so gedreht ist, wie die Figur zeigt; giebt man ihm aber eine Viertelwendung, so ist die Gemeinschaft abgeschnitten. Das Stück Messing Q, versehen mit einem Hahne E und der aufgebundenen Blase F, kann auf eine Glocke aufgesteckt werden, um mit dem Gase in derselben die Blase zu füllen, welches demnächst nach Oeffnung des Hahnes

I.



II.



durch den Kanal in den Körper der Pistole strömt, wenn nach Schließung der Mündung und beim Zurückziehen des Stückes A ein leerer Raum darin entsteht. Mitten aus dem Raume im hohlen Cylinder erhebt sich ein Messingdraht, welcher oben mit einer Kugel N versehen ist und, um ihn zu isoliren, mittelst Siegellacks in einer Glasröhre befestigt wird. Diese Glasröhre ist wieder in das Stück Messing P, das mit seiner Schraube in den hervorragenden Theil der Pistole O eingreift, mittelst Siegellacks eingekittet. Dieser Messingdraht ist da, um den elektrischen Funken in die Pistole hineinzuleiten; derselbe muß aber schon in der Höhe des hervorstehenden Theiles O endigen, damit er der freien Bewegung des Stempels nicht im Wege stehe.

Planeten (v. d. griech. πλανάομαι, ich irre herum) sind diejenigen Sterne, welche relativ zu den Gestirnen des Himmels ihren Ort verändern, also nach der Ableitung des Wortes unter den Fixsternen herumirren oder herumwan-

deln, d. h. Planeten sind Wandelsterne. Beobachtet man nämlich fortgesetzt den Sternenhimmel, so bemerkt man, daß die meisten in derselben relativen Stellung zu einander bleiben; einige wenige erblickt man aber bald in der Nähe des einen, bald des anderen Fixsternes, und dies wären mithin die Planeten. So faßten es die Alten auf; aber Sonne und Mond, obgleich sie ihren Ort in Bezug zu den Fixsternen ebenfalls ändern, sonderten sie, weil dieselben große Scheiben bilden, von ihnen ab *). Jetzt versteht man unter Planeten — mit Ausschluß der Kometen — nur diejenigen Weltkörper, welche sich in elliptischen Bahnen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht, um diese bewegen. Wir wissen, daß die Sonne ein Fixstern ist und sie sich nur scheinbar, in Folge der Bewegung der Erde um dieselbe, unter den übrigen Fixsternen bewegt, und daß der Mond ein Begleiter der Erde ist und um diese sich bewegend an der Bewegung der Erde um die Sonne Theil nimmt. Solche Begleiter finden wir noch bei anderen Planeten, und man nennt sie überhaupt Monde oder Trabanten oder Nebenplaneten. Die Alten betrachteten die Erde als stillstehend und zählten, wie oben angeführt ist, 5 Planeten, z. B. die Chaldäer, auch Ptolemäus, erst später **) kam es auf, 7 Planeten zu rechnen, nämlich: Mond, Sonne, Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn; wir nehmen die Sonne als Centralkörper und seit den zahlreichen Planetenentdeckungen, die seit 1845 gemacht worden sind, zählt man bereits gegen 50 Planeten, zu denen unsere Erde mit gehört. Außer durch ihre Ortsveränderung in Beziehung zu den Fixsternen zeichnen sich die Planeten noch durch ihr matteres Licht aus, welches sich als reflectirtes herausstellt, und dadurch, daß sie, durch Fernrohre betrachtet, einen meßbaren Durchmesser zeigen, wogegen die Fixsterne sämmtlich — mit Ausnahme der Sonne — auch bei den stärksten Vergrößerungen nur als Punkte erscheinen.

Scheinbare Bewegung. Sonne und Mond, über welche besondere Artikel handeln, rücken unter den Fixsternen immer ostwärts fort; dasselbe zeigt sich bei anhaltender Beobachtung auch bei den Planeten, wiewohl ihre Bewegung für den ersten Blick sehr verworren erscheint, indem sie zuweilen ostwärts gehen, zuweilen stille zu stehen scheinen, dann westwärts sich bewegen, hierauf wieder still stehen und endlich wieder ostwärts rücken. Hierzu kommt noch, daß sie bei diesem Hin- und Herrücken unter den Fixsternen förmliche Schleifen beschreiben ***). Diese Wechsel in der Bewegung der Planeten sind aber, wie aufmerksame Beobachtung ergiebt, regelmäßig wiederkehrend und zeigen sich von dem Stande der Planeten oder, was dasselbe ist, von dem Winkel, welchen die Gesichtslinien von unserem Auge nach der Sonne und nach dem Planeten unter sich bilden, abhängig.

Wir müssen jedoch selbst in Rücksicht der scheinbaren Bewegung einen Unterschied machen und hiernach zwei Hauptarten von Planeten: die oberen und die unteren unterscheiden. Zu diesen gehören nur zwei, nämlich Merkur und

*) Diodorus, II. 30; Platonis Timaeus p. 38; vergl. Böckh de Platonico systemate coelestium globorum etc. p. XVII. und derselbe im Philolaos 1819. S. 99.

**) Vergl. v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 421.

***) Die nach Osten gerichtete Bewegung heißt die directe oder rechtläufige, die nach Westen gerichtete die retrograde oder rückläufige, und ein Planet, welcher eine Zeitlang seine Stellung gegen die Fixsterne nicht verändert, heißt stationär oder stillstehend.

Venus, zu jenen alle übrigen; die Bezeichnung bezieht sich aber darauf, daß die unteren der Sonne näher stehen, als die Erde, die oberen aber weiter ab sich befinden.

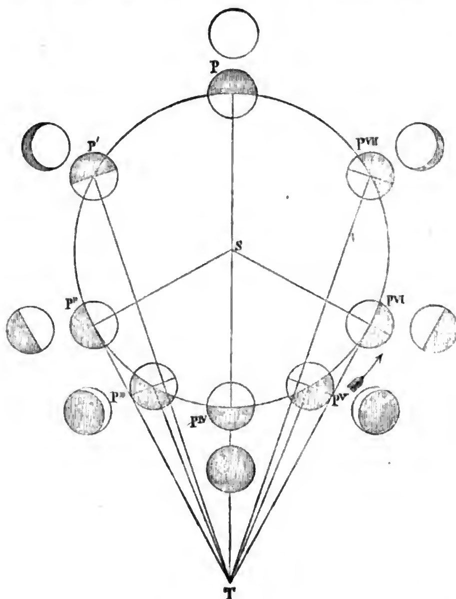
Die scheinbare Bewegung der unteren Planeten zu charakterisiren, betrachten wir den Gang, welchen die Venus nimmt, da diese als Abendstern und Morgenstern am bekanntesten ist. Die Bewegung des Merkur ist ganz ähnlich und wird nur einige Größenangaben erfordern, um vollständig bestimmt zu sein. Ein Hauptunterschied in der scheinbaren Bewegung der unteren und oberen Planeten besteht darin, daß jene sich scheinbar niemals weit von der Sonne entfernen, während diese am Himmel in alle möglichen Entfernungen von der Sonne zu stehen kommen. Für die Venus ist der Verlauf nun folgender.

Wenn Venus eine Zeitlang nicht sichtbar ist, kommt sie endlich am Abend kurz nach Sonnenuntergang, also ostwärts von der Sonne, auf nur wenige Minuten zum Vorschein und geht bald nach der Sonne unter. Die Scheibe der Venus ist bei dieser Stellung, wie der Mond im Volllichte, ganz beleuchtet, erscheint aber kleiner, als bei einer anderen Stellung. Ihre directe Bewegung ist schneller, als in anderen Verhältnissen und daher kommt es, daß sie sich einige Tage später merklich von der Sonne entfernt hat, also auch merklich später untergeht. Die Venus entfernt sich nun fortwährend mehr von der Sonne, jedoch immer langsamer; sie leuchtet als Abendstern, und ist sie nun bis auf $46^1/_2{}^0$ östlichen Abstand von der Sonne entfernt, so fängt sie an, sich der Sonne wieder zu nähern, obschon ihre Bewegung gegen die Fixsterne noch immer direct, aber auch schon sehr langsam geworden ist. Wenn sie auf diesem Gange zur Sonne etwa noch 28^0 von ihr absteht, verschwindet ihre Bewegung gänzlich und sie wird stationär. Bald darauf nimmt sie eine retrograde Bewegung an, die immer geschwinder wird, und mit welcher sie sich der Sonne noch weiter nähert, bis sie derselben so nahe kommt, daß sie in ihren Strahlen verschwindet und für uns ganz unsichtbar wird. Während dieser ganzen Periode, welche 291 Tage dauert, hat die scheinbare Größe der Venus immer zugenommen, aber von ihrer Scheibe ist nach und nach immer ein kleinerer Theil auf der westlichen oder der Sonne zugekehrten Seite beleuchtet, wie wir dies bei dem abnehmenden Monde bemerken, bis sie endlich am Ende dieser Periode, wie der Mond im Neulichte, verschwindet. Nun bleibt Venus einige Tage unsichtbar, erscheint aber darauf des Morgens kurz vor Sonnenaufgang, also auf der Westseite derselben, entfernt sich als Morgenstern anfangs schneller, dann langsamer mit jedem Tage mehr von der Sonne, bis sie in dieser rückläufigen Bewegung einen Abstand von 28^0 erreicht, wo sie einige Tage stationär wird, um dann rechtläufig zu werden. Wenn sie dann mit einer allmälig schneller werdenden directen Bewegung, die jedoch kleiner ist, als die ebenfalls ostwärts gehende Bewegung der Sonne, sich bis auf $46^1/_2{}^0$ von der Sonne entfernt hat, fängt sie an sich dieser zu nähern und kommt endlich mit immer größerer Geschwindigkeit wieder bei ihr an, so daß sie in ihren Strahlen verschwindet. Auch diese Periode, in welcher die scheinbare Größe der Venus immer abgenommen hat, und seine östliche, d. h. seine der Sonne zugewendete Seite wie der zunehmende Mond immer mehr und mehr beleuchtet wird, während die westliche Seite dunkel bleibt, bis sie endlich am Ende der zweiten Periode wie der Mond im Vollichte glänzend beleuchtet ist, dauert 291 Tage. Die Venus erscheint dann wieder als Abendstern und der eben beschriebene Verlauf beginnt

von Neuem. Der Wechsel dieser Erscheinungen umfaßt die beiden bezeichneten Perioden von 291 Tagen, also überhaupt 582 Tage, von denen 41 Tage auf die rückläufige Bewegung kommen, die einen Bogen von nahe 16 Grad umfaßt.

Der Merkur bietet ganz ähnliche Erscheinungen dar, nur sind die so eben für die Venus angeführten Zahlen bei diesem Planeten durchweg etwas kleiner. Seine größte Entfernung (Ausweichung) von der Sonne beträgt 23 Grad, während die Ausweichung zur Zeit des östlichen und westlichen Stillstandes 18 Grad ausmacht. Auf jede der beiden Perioden des Merkur kommen 58 Tage, so daß also nach 116 Tagen der Wechsel der Erscheinungen vollendet ist und von vorn beginnt; $17^1/_2$ Tag lang ist die Bewegung rückläufig und der Bogen, welchen der Planet hierbei beschreibt, hält nahe $12^1/_2$ Grad.

Um von dem scheinbaren Laufe der unteren Planeten ein möglichst klares Bild zu geben, theilen wir hier gleich noch eine Zeichnung mit, in welcher S



die Sonne, T die Erde und P, P′, P″ . . . den Planeten vorstellen. Steht der Planet in P in der oberen Conjunction *), so wendet er, wie durch den ganz

*) Ein Planet ist in Conjunction mit der Sonne, wenn er zwischen Sonne und Erde steht; in Opposition mit der Sonne, wenn die Erde zwischen ihm und der

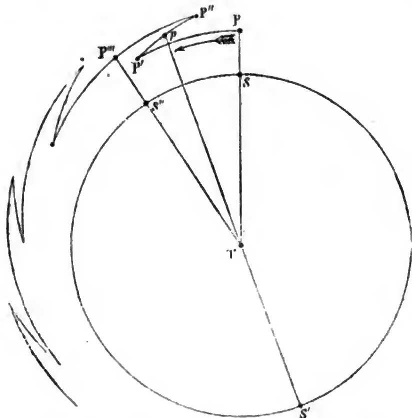
hellen nebenstehenden Kreis angedeutet ist, der Erde seine ganz erleuchtete Scheibe zu, ist aber nicht zu sehen. In P'' ist die östliche Digression am größten, da $\angle SP''T = 90^{0}$ ist. Von P bis P'' ist die Bewegung rechtläufig; in P'' ist der Planet stationär, wird dann rückläufig und steht in P^{IV} in der unteren Conjunction, wo er unsichtbar ist. In P^{VI} ist die größte westliche Digression; bis dahin war die Bewegung rückläufig; wird hier stationär und dann wieder rechtläufig. Die neben dem Planeten stehenden Kreise zeigen in ihrem hellen Theile den der Erde zugekehrten Theil der beleuchteten Scheibe.

Der scheinbare Lauf der oberen Planeten ist ganz anders. Es ist schon oben gesagt, daß die unteren Planeten immer in der Nähe der Sonne gesehen werden, namentlich kommen sie nie mit der Sonne in Opposition, d. h. niemals steht die Erde zwischen ihnen und der Sonne; wohl aber ist dies bei den oberen Planeten der Fall. Mars z. B. hat seine größte östliche Bewegung und zugleich seinen kleinsten Durchmesser zur Zeit, wo er uns bald nach Sonnenuntergang erscheint. Aber diese Geschwindigkeit nimmt mit der östlichen Entfernung von der Sonne immer mehr ab, und verschwindet endlich in der Entfernung von 137 Grad, wo er unter den Fixsternen eine kurze Zeit still zu stehen scheint, hierauf mit immer schneller werdender retrograder Geschwindigkeit sich der Sonne nähert, bald aber sich wieder von ihr entfernt und zwar so weit, daß er in Opposition mit der Sonne kommt, wo er dann um Mitternacht durch den Meridian geht, seine retrograde Bewegung am schnellsten und sein scheinbarer Durchmesser am größten ist. Von diesem Punkte nimmt seine Geschwindigkeit allmälig ab, bis sie in der Entfernung von 137° auf der Westseite der Sonne wieder verschwindet, und der Planet also wieder stationär wird. Bald darauf nimmt er seine östliche oder directe Bewegung wieder an, und nähert sich dann mit immer größerer Geschwindigkeit wieder der Sonne, die er endlich mit seiner größten directen Bewegung und mit seinem kleinsten scheinbaren Durchmesser erreicht, um auf der Ostseite derselben wieder zum Vorschein zu kommen und eine neue Periode derselben Erscheinungen zu beginnen. Zu diesem Wechsel der Erscheinungen sind 780,4 Tage nöthig, von denen 70 auf die rückläufige Bewegung kommen, bei welcher ein Bogen von 14 Grad zurückgelegt wird. Ganz ähnliche Bewegungen machen die übrigen oberen Planeten. Zur besseren Uebersicht stellen wir hier die Dauer und Größe dieser einzelnen Phänomene für Mars, Jupiter, Saturn und Uranus zusammen.

	Dauer der ganzen Periode	Ausweichung von der Sonne beim Stillstande	Bogen des Rückganges	Dauer des Rückganges
Mars . . .	780,4 Tage	137 Grade	14 Grad	70 Tage
Jupiter . . .	398,8 „	117 „	10 „	119 „
Saturn . .	378,0 „	108 „	7 „	136 „
Uranus . . .	369,7 „	102 „	4 „	150 „

Sonne steht; in Opposition mit der Erde, wenn die Sonne zwischen ihm und der Erde steht; die Sonne und der Planet sind in der oberen Conjunction, wenn Planet, Sonne und Erde in gerader Linie stehen und zwar der Planet von der Erde aus gerechnet jenseits der Sonne; in der unteren Conjunction, wenn der Planet in gerader Linie zwischen Sonne und Erde sich befindet. Steht ein Planet von der Erde aus gesehen links von der Sonne, so befindet er sich in östlicher Digression oder Ausweichung; rechts von der Sonne in westlicher.

Zur Veranschaulichung geben wir noch beifolgende Figur. S sei die Sonne, T die Erde, der Planet stehe in P in der Conjunction und wäre also unsichtbar. Von da an sind Sonne und Planet rechtläufig, da aber die Sonne ihren scheinbaren Lauf durch die Fixsterne in einem Jahre vollendet, der Planet dazu mehr Zeit gebraucht, so ist die Bewegung der Sonne schneller, als die des Planeten und letzterer erscheint also in Bezug auf die Sonne rückläufig. Bald erreicht indessen der Planet einen Ort P', wo er in Bezug auf die Sterne fast still steht,

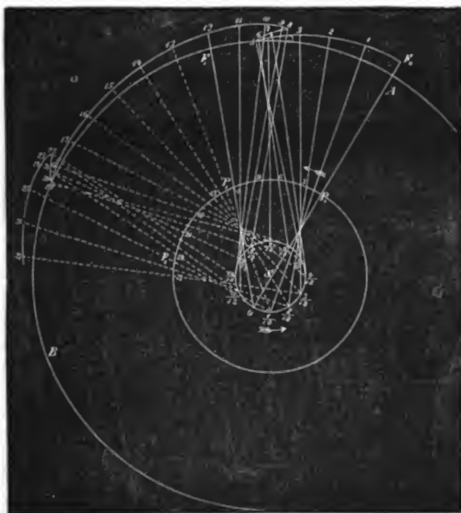


und wird dann rückläufig. Wenn er in p seine größte Geschwindigkeit und die Mitte des Bogens seiner rückläufigen Bewegung erreicht hat, so steht die Sonne in S' mit ihm in Opposition. Von jetzt an ist der Planet rechtläufig in Bezug auf die Sonne, obwohl er noch rückläufig ist in Bezug auf die Sterne. In P'' angelangt wird der Planet wieder rechtläufig in Bezug auf die Sterne. Die Sonne tritt in S'' mit dem Planeten wieder in die obere Conjunction, wenn letzterer in P''' die größte Geschwindigkeit und die Mitte des Bogens seiner rechtläufigen Bewegung erreicht hat *).

Noch klarer dürfte indessen umstehende Figur die scheinbare Bewegung eines oberen Planeten darstellen, bei welcher die wahre Bewegung der Erde und des Planeten um die Sonne zu Grunde gelegt ist. S sei die Sonne; die Erde bewege sich auf dem Kreise, welcher S zunächst und in 12 gleiche Theile getheilt ist, an denen die Zahlen 0, $^1/_{12}$, $^2/_{12}$ . . . . $^{11}/_{12}$ stehen; der nächste Kreis P^0; $P_,$; $P_{,,}$ . . . sei die Bahn des Planeten und dieser lege in einem Umlaufe der Erde die Strecke P_0 bis $P_,$, eben so $P_,$ bis $P_{,,}$ . . . zurück, jede dieser Strecken ist in 12 gleiche Theile getheilt, die mit den Zahlen 3, 6, 9 . . . bezeichnet sind;

*) Arago's populäre Astronomie, deutsch von Hankel. Leipzig 1856. Bd. II. S. 195.

AB stelle den Fixsternhimmel vor. Geht man nun von der Stellung der Erde bei o aus, für welche der Planet in P_0 in Conjunction stehe, so würde derselbe — wenn er gesehen werden könnte — bei einem Fixsterne F_0 zu stehen scheinen,



nach einem Monate, also von $^1/_{12}$ aus, bei einem Fixsterne 1; nach zwei Monaten, also von $^2/_{12}$ aus, bei einem Fixsterne 2 u. s. f.; nach 5 Monaten wird dann der Planet gegen die Fixsterne rückläufig und geht scheinbar von dem Fixstern 5 zurück bis zu 8 zwischen 3 und 4, dann wird er wieder rechtläufig in Beziehung zu den Fixsternen und behält diese Bewegung bei bis 19, wo er wieder im Verhältniß zu den Fixsternen rückläufig wird, wie dies bei 5 der Fall war u. s. f. Zugleich sehen wir, daß zur Zeit der Opposition, was bei 7, 21, 35 .. eintritt, der Planet sich in der Mitte des Bogens seiner rückläufigen Bewegung befindet, eben so wie er zur Zeit der oberen Conjunction in F_0, 14, 28 ... in der Mitte des Bogens seiner rechtläufigen Bewegung steht, genau so, wie es nach der vorhergehenden Zeichnung auch der Fall ist.

Die bisherigen Angaben über die scheinbare Bewegung der Planeten bezogen sich nur auf ihre Länge; überdies haben wir dieselbe nur im Allgemeinen zu charakterisiren gesucht, indem z. B. die oben angegebenen Zahlen nur mittlere Werthe enthalten. Die Ausweichung des Mars bei seinem Stillstande ändert sich von 129 bis 147 Grad, die Dauer seines Rückganges von 60 bis zu 80 Tagen, und ähnlich steht es bei den anderen Planeten. Ist die Bewegung der Planeten nun schon in ihrer Länge nicht wenig verwickelt, so wird sie dies noch viel mehr,

wenn man, wie es doch sein muß, zugleich auch auf die Veränderungen in der Breite Rücksicht nimmt *). Folgen der Aenderungen in Länge und Breite sind

*) Um dies durch ein Beispiel zu zeigen, theilt Littrow (die Wunder des Himmels. 2. Aufl. Stuttgart 1837. S. 134) folgende kleine Karte mit, welche für die Monate Februar bis September des Jahres 1835 den Lauf der Sonne sowohl, als auch den des Mer-



kurs, wie er von der Erde in Beziehung auf den Aequator erscheint, zeigt. Die gerade Linie o o stellt den Aequator vor, auf welchem die Rectascensionen in Stunden I. II. III. genommen sind, deren jede 15 Grade enthält, und senkrecht darauf stehen die in Grade getheilten Deklinationskreise. Der Lauf der Sonne ist durch die krumme Linie A B C . . F und der des Merkurs durch durch a b c . . f vorgestellt, so daß die Zeichen A und a den Ort der Sonne und des Merkurs für den 1. März, B und b für den 1. April, C und c für den 1. Mai .... und F und f für den 1. August des Jahres 1835 angeben. So ist z. B. für die Punkte C und c oder für den 1. Mai die Rectascension der Sonne 2^h 30′ und die des Merkurs 1^h 25′; die nördliche Deklination der Sonne aber 15° und die von Merkur 6°. Schon der erste Blick auf die Karte zeigt die große Unregelmäßigkeit des Laufes der Planeten, während die Bahn der Sonne als ein einfacher größter Kreis des Himmels erscheint. Im Allgemeinen geht zwar auch Merkur von West gegen Ost, indem er die in derselben Richtung fortschreitende Sonne bald in geringer, bald in einer größeren Entfernung begleitet, aber diese directe Bewegung des Planeten wird selbst in dieser kurzen Zeit mehr als einmal unterbrochen. So erscheint er in Rectascension stationär am 1. März oder in dem Punkte a, wo die Richtung seiner Bahn senkrecht auf dem Aequator ist, und dasselbe ist der Fall am 24. März, am 4. Juli und am 29. Juli, und seine Bewegung ist daher retrograd vom 1. bis 25. März durch einen Bogen von 11,5 Grad, und vom 4. bis 28. Juli durch einen Bogen von 11,0 Grad. Nicht geringeren Veränderungen ist auch die Deklination dieses Planeten unterworfen. Im Anfange des Jahres 1835 war seine südliche Deklination am größten, und nahm von da ab, bis Merkur am 26. Februar durch den Aequator ging. Dann wächst die nördliche Deklination, aber nur bis zu einem Grad am 4. März, wo sie stationär ist, weil dann die Bahn des Planeten eine gegen den Aequator parallele Lage annimmt. Bald darauf nimmt diese ohnehin nur kleine nördliche Deklination wieder ab, bis Merkur am 10. März zum zweiten Male durch den Aequator geht, und seine südliche Deklination bis zum 29. März wächst, wo sie wieder am größten und stationär ist. Darauf nähert er sich wieder dem Aequator, den er am 21. April zum dritten Male schneidet. Von diesem Punkte an wächst die nördliche Deklination durch längere Zeit bis zum 4. Juni, wo sie ihren größten Werth von 26° erhält, und von da wieder abnimmt, bis sie am 14. Juli ihren kleinsten Werth von 16° hat, und stationär wird. Von diesem Punkte an wächst die Deklination wieder, bis sie am 8. August neuerdings ihren größten Werth von 20° erhält, einige Zeit durch stationär ist, und dann allmälig wieder kleiner wird, indem der Planet sich dem Aequator nähert, um ihn erst am 14. Septbr. zu erreichen. Am 22. Februar und am 19. Juni hat Merkur seine größte östliche, und am 7. April und 5. August seine größte westliche Ausweichung von der Sonne. Im Gegentheile steht er am 14. März, 17. Mai, 16. Juli und 29. August der Sonne am nächsten, doch mit dem Unterschiede, daß sein Durchmesser am 14. März und 16. Juli am größten, aber beinahe ganz unbeleuchtet, am 17. Mai und 28. August aber am kleinsten, und ganz vollbeleuchtet erscheint. Auch steht Merkur vom 11. Februar bis 14. März, so wie vom 17. Mai bis 16. Juli östlich von der Sonne, und geht daher erst in den Nachmittagsstunden durch den Meridian, während er vom 14. März bis 17. Mai, und vom 16. Juli bis 29. Au-

die Schleifen, welche die oberen Planeten zur Zeit der Opposition bilden, also um die Zeit ihres scheinbaren Stillstandes, und eben so zeigen sich um dieselbe Zeit dergleichen Schlingen bei den unteren, die dann seitwärts von der Sonne stehen.

Alle diese scheinbaren Unregelmäßigkeiten in dem Gange der Planeten erklären sich, wie namentlich aus der Figur S. 325 dieses Artikels schon wahrscheinlich geworden sein wird, aus den verschiedenen Stellungen, welche sie von der Erde aus betrachtet gegen Sonne und Fixsterne, da die Erde sich gleichfalls um die Sonne bewegt, nothwendig annehmen müssen. Schon die regelmäßige Wiederholung der scheinbar so verwickelten Erscheinungen, das Auftreten der Schleifen oder Schlingen zur Zeit der Opposition oder zur Zeit der größten Ausweichung, dies Alles spricht für den angegebenen Grund; denn wenn auch die Stellen am Fixsternhimmel sich ändern, an denen diese Erscheinungen stattfinden, so sind doch die Stellungen der Planeten gegen die Sonne und Erde zu jenen Zeiten stets dieselben und die mittlere Zeit, welche zu den einzelnen Perioden erforderlich ist, bleibt sich auch gleich. Noch überzeugender ergiebt sich aber diese Abhängigkeit der erwähnten Erscheinungen von der Sonne daraus, daß die mittlere Zeit, welche zwischen zwei nächsten Durchgängen eines Planeten durch denselben Knoten (s. d. Art. Knoten) vergeht, dieselbe bleibt, mag der Planet bei diesen Durchgängen nun direct oder retrograd, schneller oder langsamer sich bewegen; diese Zeit ist aber offenbar die Zeit eines ganzen Umlaufes des Planeten um die Sonne. Jene Punkte des Durchganges müssen, von der Sonne aus gesehen, dieselben sein, wie von der Erde aus gesehen, weil in dem Augenblicke, in welchem er eintritt, Sonne, Erde und Planet in derselben Ebene — in der Ekliptik — liegen; man wird daher den Planeten stets wieder bei demselben Fixsterne sehen — falls der Knoten selbst seine Stellung nicht verändert, was ziemlich nahe der Fall ist —, und deshalb nennt man einen solchen Umlauf eine siderische Revolution *).

Verschiedene Planetensysteme. Man hat sich im Alterthum vielfach Mühe gegeben und Hypothesen ersonnen, um die scheinbare Bewegung der Himmelskörper zu erklären, konnte aber zu keinem richtigen Resultate kommen, weil man immer die Erde als feststehend in der Mitte des Planetensystems annahm. Zwar hat es auch schon unter den Alten einzelne Männer gegeben, welche das richtige Verhältniß der Erde gegen die Sonne aussprachen, indessen wurde ihre Ansicht nicht wissenschaftlich ausgebildet und blieb unbeachtet.

Die erste Erklärung der Planetenbewegungen versuchte Ptolemäus

---

gust westlich von der Sonne steht, und in den Morgenstunden culminirt. — Eine vollständige Darstellung der scheinbaren Bahnen der Sonne, des Merkur, der Venus, des Mars, Jupiter, Saturn und Uranus an der Himmelskugel von 0^h bis 24^h gerader Aufsteigung während des Jahres 1836 liefern die beiden Tafeln, welche Fig. 166 und 167 in Arago's populärer Astronomie, deutsch von Hankel, Bd. II. S. 192 enthalten.

*) Um den Augenblick, wo dieser Durchgang stattfindet, genau zu bestimmen, beobachtet man um die Zeit, wo sich ein Planet in der Nähe der Ekliptik befindet, täglich die Rectascension und Deklination desselben und berechnet hiernach seine Länge und Breite. Dann findet man 2 Tage, von welchen an dem einen der Planet nördlich, an dem anderen hingegen südlich von der Ekliptik steht. Hieraus und aus der täglichen Aenderung der Breite findet man durch eine einfache Proportion die Zeit, wenn die Breite verschwindet, d. h. wenn der Planet durch die Ekliptik geht.

(gest. um 150 n. Chr.). Das ursprüngliche Ptolemäi'sche Weltsystem war folgendes:

1) Die Erde steht fest und unbeweglich im Mittelpunkte des Systems.
2) Um diesen Mittelpunkt liegen 7 concentrische Kreise für die 7 alten Planeten — Sonne und Mond nämlich mitgerechnet.
3) Dann kommen 5 concentrische Kugelschalen (Sphären) für die Fixsterne von verschiedener Größe.
4) Hinter diesen Sphären befindet sich das primum mobile (die bewegende Kraft oder das Weltenrad).
5) Außerhalb liegt dann noch das Reich der Seligen.

Bald sah man das Ungenügende dieses Systems ein, riß sich aber nicht ganz davon los, sondern verbesserte es, und dies verbesserte Ptolemäische System ist das Aegyptische oder epicyklische. Das von Hipparch bereits 250 Jahre vor Ptolemäus entdeckte Zurückweichen der Nachtgleichen zwang noch zwei bewegende Sphären anzunehmen, durch deren Einwirkung auf die Ekliptik und den Aequator diese Erscheinung herbeigeführt werden sollte. Um Tag und Nacht zu erklären, war eine vierte bewegende Kraft oder Sphäre erforderlich, durch welche die übrigen Kreise und Sphären täglich einmal in entgegengesetzter Richtung — von Osten nach Westen — umgedreht werden sollten. Zur Erklärung der Erscheinungen, welche die unteren Planeten zeigen, mußte man, da sich die Sonne in 365 Tagen um die Erde bewegen sollte, annehmen, daß die Sonne zwei kleinere Kreise, in deren Mittelpunkte stets die Sonne steht, mit sich herum führe, den einen für den Merkur, den anderen für die Venus. Dies war also eigentlich schon ein Schritt zu dem wahren Systeme; aber bei den oberen Planeten kam man nicht darauf, die Sonne in den Mittelpunkt ihrer Bahnen zu setzen. Der Bahn der oberen Planeten lag ein Kreis zu Grunde, in dessen Mittelpunkte die Erde stand, aber auf dem Umfange dieses Kreises bewegte sich mit seinem Mittelpunkte ein kleinerer Kreis und in diesem kleineren Kreise nahm der Planet erst seinen Lauf. Es war dies jedenfalls ein sinnreiches Mittel; denn es führte insofern zum Ziele, als der Planet hierdurch alle die verschiedenen scheinbaren Bewegungen ziemlich machen kann, die er wirklich macht. Bewegt sich nämlich der Planet auf seinem kleinen Kreise ostwärts und schreitet dieser ebenfalls ostwärts auf dem größeren fort, so resultirt hieraus eine schnellere östliche Bewegung; läuft der Planet auf der entgegengesetzten Hälfte des kleineren Kreises, so ist seine Bewegung auf diesem westwärts und da der kleinere Kreis selbst ostwärts fortschreitet, so kann es kommen, daß sein östliches Fortschreiten langsamer wird, oder daß er still zu stehen scheint, oder gar westlich fortrückt. — Für Sonne und Mond behielt man den einfachen Kreis anfangs bei; da man aber fand, daß die Sonne zu einer gewissen Zeit — jetzt am 2. Januar — einen größten, ein halbes Jahr später — jetzt am 2. Juli — einen kleinsten scheinbaren Durchmesser hat, so sah man sich später genöthigt, die Erde nicht mehr in den Mittelpunkt des Kreises für die Sonne zu setzen, sondern den Kreis excentrisch anzunehmen, wodurch offenbar die Sonne bei ihrem Umlaufe um die Erde in verschiedene Entfernungen von dieser kommt und also auch verschieden groß erscheinen muß.

Ungeachtet dieser Verbesserungen genügte das System doch noch nicht, da die vorausberechneten Oerter, namentlich der Planeten, nie mit den beobachteten stimmten. Deshalb nahm man — den einmal eingeschlagenen Weg consequent

verfolgend — an, daß sich die Planeten nicht auf dem zweiten Kreise bewegten, sondern auf dem Umfange dieses zweiten Kreises schreite ein dritter Kreis mit seinem Mittelpunkte fort und auf der Peripherie dieses dritten Kreises nehme der Planet erst seinen Lauf. Half der dritte Kreis noch nicht, so ging man zu einem vierten, und baute so Kreis auf Kreis oder Epicykeln *). Alphons der Zehnte von Castilien (1252 n. Chr.) sagte, als man ihm dies System auseinandersetzte: „Wenn ich damals mit zu Rathe gezogen worden wäre, so hätte ich einen anderen einfacheren und besseren Plan für das Weltall vorgeschlagen." Man hat dies System wohl gar lächerlich zu machen gesucht, zumal von manchen Seiten angenommen wurde, die Sphären seien alle von Krystall und auch die weiten Zwischenräume, welche diese Sphären von einander trennen, beständen aus einer soliden Masse. Aber Ptolemäus selbst hat seinen Sphären und Kreisen keine reelle Existenz zugeschrieben, sondern es galt ihm sein System nur als eine geometrische Auffassung oder Vorstellungsweise, durch welche die scheinbaren Bewegungen des Himmels den Beobachtungen gemäß sich darstellen ließen **). Es ist nicht zu läugnen, daß in diesem Sinne das System manches Werthvolle geleistet hat, und da es eine bedeutende mathematische Ausbildung erfahren hatte, durch welche die Erscheinungen immer genauer demselben sich anpaßten, so darf man sich nicht wundern, daß es so lange bestanden hat, und Viele sich nur schwer von demselben lossagen konnten.

Nicolaus Copernicus aus Thorn veröffentlichte 1543 ein neues, nach ihm das copernicanische genannte, System ***), welches im Wesentlichen in Folgendem besteht:

1) Die Sonne steht still im Mittelpunkte unseres Sonnensystems.
2) Die Erde und alle Planeten bewegen sich in concentrischen Kreisen von Westen nach Osten um die Sonne und drehen sich in derselben Richtung um sich selbst.
3) Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn sind Planeten.
4) Der Mond ist ein Trabant der Erde.

Wir können hier nicht darauf eingehen, was Copernicus veranlaßt hat oder haben mag, an eine andere Auffassung zu denken, als dem Ptolemäischen Systeme zu Grunde liegt; wir wollen nur eine einzige Frage aufwerfen, welche bedenklich genug erscheinen wird, um an dem geocentrischen Systeme zu zweifeln. Ist es wohl wahrscheinlich, daß sich die relativ unendlich große Welt um unsere so kleine Erde bewegt ****)? Da sich nun unter der Annahme, die Erde rotire um ihre Axe, die täglichen scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper auf eine ganz ungezwungene, sogar einfachere Weise, als nach dem ägyptischen Systeme, ergeben, so durfte Copernicus wohl darüber Zweifel empfinden, ob der Himmel sich bewege und die Erde fest stehe, oder ob die Sonne und der Fixsternhimmel fest stehe und die Erde sich bewege. Welche Annahme die richtigere

*) Vergl. Art. Bewegung, Bd. I. S. 843.

**) Almagest. T. III. p. 3.

***) Nicolai Copernici, Torinensis, de Revolutionibus orbium coelestium libri sex cum tabulis expeditis, Norimbergae 1543. fol. Kurz vor seinem Tode (24. Mai 1543) wurde ihm das erste, eben angekommene Exemplar seines Werkes überreicht.

****) Vergl. Art. Erde, Bd. II. S. 901.

sei, war durch andere Gründe festzustellen, die im Art. Erde aufgeführt sind, und zu denen in neuester Zeit noch einer durch Foucault's Pendelversuch gekommen ist, wovon Art. Pendel das Nähere angiebt. Bedenken wir überdies, daß es dem Copernicus nicht unbekannt war, daß der Pythagoräer Nicetas schon die Rotation der Erde um ihre Axe und Philolaus die Revolution derselben um die Sonne behauptet hatten, daß nach dem ägyptischen Systeme bereits Merkur und Venus ihre Bahn um die Sonne beschrieben, so lag der Gedanke des Copernicus gar nicht zu fern.

In der bereits oben gegebenen dritten Zeichnung dieses Artikels ist der Lauf eines oberen Planeten nach dem Systeme des Copernicus zur Anschauung gebracht. Wir fügen hier noch einige Bemerkungen hinzu. Es ist klar, daß, wenn die Erde in o und der Planet in Po steht, ihre Richtungen entgegengesetzt sind, daß also zur Zeit der Conjunction der Planet sich scheinbar mit der Summe der beiden Geschwindigkeiten bewegen muß. Schreitet die Erde nun weiter nach $^1/_{12}$, $^2/_{12}$ ..., der Planet nach 1. 2. 3. ..., so sind die Richtungen beider nicht mehr genau entgegengesetzt und die scheinbare Bewegung des Planeten muß kleiner werden, bis endlich Erde und Planet zur Sonne in eine solche Stellung kommen — zwischen $^4/_{12}$ und $^5/_{12}$ unserer Zeichnung —, daß die von der Erde nach der Sonne und nach dem Planeten gezogenen Linien einen rechten Winkel bilden. Dann geht die Erde gerade auf den Planeten los, so daß der Planet einen scheinbaren Weg zurücklegt, welcher seinem wahren gleichkommt. Rücken beide Körper noch weiter, so wird der eben bezeichnete Winkel kleiner als 90°, die scheinbare Bewegung des Planeten wird kleiner als die wahre, sie wird endlich Null, da die Bewegung der Erde derjenigen des Planeten immer mehr entgegengesetzt wird, je näher beide zur Opposition des Planeten zur Sonne in $^7/_{12}$ und 7 kommen, ja sie wird schon vorher entgegengesetzt oder rückläufig und diese rückläufige Bewegung muß zur Zeit der Opposition am größten sein, weil da beide Richtungen der Bewegung zusammenfallen und der bezeichnete Winkel Null geworden ist. Nach der Conjunction (in 7) wächst der Winkel wieder, die rückläufige Bewegung wird immer kleiner, wird Null (bei 8), wird rechtläufig und diese nimmt immer mehr zu, bis (bei $^2/_{12}$ und 14) der Planet wieder in Conjunction zur Sonne steht und die Periode von neuem beginnt.

Eine ähnliche Betrachtung kann auch für die unteren Planeten angestellt werden. Man wird hier die Erscheinungen durch zwei concentrische Kreise darstellen, von denen der innere die Bahn des Planeten, der äußere die Bahn der Erde vorstellt. Zur Zeit ihrer oberen Conjunction, wo die Sonne zwischen dem Planeten und der Erde ist, sind die wahren Bewegungen des Planeten und der Erde nach entgegengesetzten Seiten gerichtet, daher hier die von der Erde gesehene oder scheinbare Bewegung direct und am größten ist. Nach der oberen Conjunction neigt sich die Richtung der wahren Bewegung des Planeten immer mehr gegen die Erde hin, oder seine scheinbare directe Bewegung wird langsamer. Zur Zeit der größten östlichen Digression geht die Richtung seiner Bewegung oder die Tangente seiner Bahn gerade auf die Erde zu, und er scheint deshalb nunmehr eben so viel auf die linke Seite zu rücken, als die Erde in ihrer Bahn rechts rückt. Nach diesem Momente entfernt sich die Tangente seiner Bahn auf der anderen oder westlichen Seite immer mehr von der Erde, und es muß daher eine Stelle geben, wo seine Bewegung nach der rechten Seite genau mit jener der Erde, die ihn scheinbar

nach der linken Seite vorrückt, übereinkommt, und in dieser Stelle wird daher der Planet seinen Stillstand haben. Von da an wird nun seine scheinbare Bewegung rückgängig sein, da die wahren Bewegungen des Planeten und der Erde beide nach der rechten Seite gerichtet sind, und die der ersteren, als des der Sonne näheren Körpers, auch zugleich die größere ist. In der unteren Conjunction endlich sind beide nach der rechten Seite gehenden Richtungen der wahren Bewegungen einander genau parallel, daher hier die scheinbar rückgängige Bewegung des Planeten ihren größten Werth haben wird. Nach der unteren Conjunction erneuern sich in der anderen Hälfte der Bahn dieselben Erscheinungen in umgekehrter Zeitfolge, bis der Planet wieder seine obere Zusammenkunft mit der Sonne erreicht.

Man sieht also, wie alle Unregelmäßigkeiten in der Bewegung der Planeten nur scheinbar sind und darin ihren Grund haben, daß wir selbst uns auf einem bewegten Beobachtungsorte befinden, daß von der Sonne aus gesehen, alle diese Unregelmäßigkeiten verschwinden und vielmehr der schönsten Regelmäßigkeit Platz machen. Daher pflegen die Astronomen die Planeten in ihren Stellungen stets auf die Sonne zu beziehen. Da unsere directen Beobachtungen aber sämmtlich nur den von der Erde aus gesehenen Ort der Planeten angeben, so ergiebt sich die astronomische Aufgabe, den geocentrischen Ort der Planeten in den heliocentrischen Ort derselben zu verwandeln, d. h. denjenigen Ort zu bestimmen, wo von der Sonne aus gesehen, die Planeten erscheinen. Sei S in beistehender Figur die Sonne, T die Erde und P der Planet. Zieht man durch



T die Linie TA parallel mit der Linie S♈, die durch die Sonne und durch den Punkt der Frühlingsnachtgleiche geht, so wird, wegen der hier als unendlich weit vorausgesetzten Entfernung der Fixsterne, ♈ST die heliocentrische Länge der Erde, ♈SP die heliocentrische Länge des Planeten, und ATP die geocentrische Länge des Planeten sein. Zieht man endlich noch durch S die Linie SB parallel mit TP, so wird auch der Winkel ♈SB = ATP die geocentrische Länge des Planeten

ausdrücken. Man beschreibe daher mit dem größten Halbmesser, den z. B. die Ebene einer Tafel verträgt, aus dem Mittelpunkte S einen Kreis ♈♋♎♑, der die in Grade getheilte Ekliptik an der von der Sonne oder von der Erde unendlich weit entfernten Fläche des Himmels vorstellt. Aus demselben Mittelpunkte S beschreibe man die Bahn a T b der Erde und P B des Planeten. Nehmen wir nun an, daß man für irgend eine Zeit, für welche der heliocentrische Ort T der Erde, z. B. von 30 Graden, gegeben ist, durch eine unmittelbare Beobachtung die geocentrische Länge des Planeten, die etwa 63 Grade betragen mag, kennen gelernt habe. Sucht man dann die heliocentrische Länge des Planeten für dieselbe Zeit, so wird man an der Linie ♈S, in dem Punkte S, die gerade Linie S B unter dem Winkel ♈S B = 63° ziehen, und dann mit dieser Linie eine zweite durch T parallel ziehen; diese zweite Linie wird die kreisförmige Bahn des Planeten in irgend einem Punkte P schneiden, und dieser Punkt P wird der gesuchte Ort des Planeten in seiner Bahn sein. Zieht man daher die Linie PS, so wird der Winkel ♈SP, hier nahe gleich 50 Grad, die gesuchte heliocentrische Länge des Planeten sein. Ist aber umgekehrt für irgend eine Zeit die heliocentrische Länge der Erde 30°, und die heliocentrische Länge des Planeten 50° gegeben, so kennt man dadurch die Lage der zwei Punkte T und P in den Bahnen dieser beiden Planeten. Verbindet man sie durch die gerade Linie TP, und zieht man mit ihr durch S die Parallele S B, welche den äußersten Kreis der Zeichnung in dem Punkte 63° trifft, so erhellet, daß die gesuchte geocentrische Länge des Planeten 63 Grade beträgt. Durch dieses Verfahren erhält man auch zugleich die Größe der Linie TP oder die Entfernung des Planeten von der Erde. Man kann noch bemerken, daß in dem Dreiecke STP der Winkel TSP an der Sonne, oder die Commutation, gleich ist der heliocentrischen Länge des Planeten, weniger der heliocentrischen Länge der Erde, der Winkel SPT an dem Planeten aber, oder die jährliche Parallaxe, ist gleich der geocentrischen Länge, weniger der heliocentrischen Länge des Planeten, und endlich der Winkel STP an der Erde, oder die Elongation, ist gleich 180°, mehr der heliocentrischen Länge der Erde, weniger der geocentrischen Länge des Planeten.

Aus der Theorie der heliocentrischen Bewegung der Planeten können die Astronomen ebenfalls den heliocentrischen Ort berechnen; indem sie mit dem so gefundenen nun denjenigen vergleichen, welcher sich aus dem beobachteten geocentrischen Orte ergiebt, haben sie ein Mittel, jene Theorie selbst zu berichtigen.

Wäre die Voraussetzung richtig, daß alle Planeten concentrische Kreise um die Sonne beschrieben, welche sämmtlich in derselben Ebene der Ekliptik lägen, so brauchte man nur die während seiner ganzen Kreisbewegung sich gleichbleibende Geschwindigkeit eines Planeten zu kennen, so wie einen Ort, an dem er sich zu einer gewissen Zeit auf seiner Bahn befand, um aus diesen beiden Angaben die Orte und Zeiten für seinen ganzen Umlauf zu berechnen. Diese beiden Elemente wären also 1) die heliocentrische Länge des Planeten für eine bestimmte Zeit, welche die Epoche des Planeten genannt wird, und 2) die Umlaufszeit um die Sonne, aus der die tägliche und stündliche Bewegung, wegen der Gleichmäßigkeit der Bewegung des Planeten in seiner Bahn, sich leicht berechnen läßt. Die Umlaufszeiten sind in den siderischen Revolutionen gegeben, da man aber die heliocentrischen Längen vom Nachtgleichenpunkte an rechnet, und dieser sich selbst jährlich um 0°,01394 von Osten gegen Westen bewegt, so sind die

Umlaufszeiten in Beziehung auf diesen Punkt, welche die **tropischen** Revolutionen der Planeten genannt werden, sämmtlich etwas kleiner als die siderischen.

Die oben gemachte Voraussetzung ist aber schon deshalb falsch, und die angegebenen 2 Elemente reichen nicht hin, weil die Planetenbahnen nicht in der Ebene der Ekliptik liegen, sondern diese unter verschiedenen Winkeln in der Knotenlinie schneiden. Der **Neigungswinkel** der Planetenbahnen wird gefunden, wenn man sich senkrecht auf die Knotenlinie in demselben Punkte zwei Senkrechte errichtet denkt, von denen die eine in der einen, die andere in der anderen der beiden sich schneidenden Ebenen liegt. Um die Lage der durch die Sonne gehenden Knotenlinie in der Ebene der Ekliptik zu kennen, muß die Länge des aufsteigenden Knotens bekannt sein. Es kommen also zu den vorerwähnten noch zwei neue Elemente der Planetenbahnen hinzu. Da in dem Vorhergehenden die Neigungen der Planeten nicht berücksichtigt sind, so wird die Lösung der gestellten Aufgaben nun einer Erweiterung bedürfen. Es bezeichne wieder S (s. beistehende Figur) die Sonne, T die Erde und P den Planeten, den letzten irgend wo außerhalb der Ekliptik, während Sonne und Erde immer innerhalb derselben liegen. Die Ebene der Ekliptik schneide erweitert die Fläche des Himmels in dem größten Kreise AKP′ und die Ebene der Planetenbahn, die nach dem Vorhergehenden immer durch den Mittelpunkt der Sonne S geht, treffe die Himmelsfläche in dem größten Kreise BKp′, so ist also der Durchschnittspunkt K beider Kreise der aufsteigende Knoten der Planetenbahn und der Winkel AKB, welchen beide Kreise mit einander bilden, ist die Neigung dieser Bahn gegen die Ekliptik. Sei der Punkt A in der Ekliptik der Frühlingspunkt von welchem alle Längen in der Richtung AK oder von West gen Ost gezählt werden. Man nehme auch auf der Planetenbahn rückwärts



von K den Bogen KB = KA, so wird jeder dieser Bogen gleich der Länge des aufsteigenden Knotens der Bahn sein, welche durch die Tafeln (s. d. Folg.) für jede Zeit als bekannt angesehen werden kann. Diese Länge des Knotens sei = k und die Neigung der Bahn oder der Winkel AKB sei = n. Nun verlängere man ST und Sp, bis sie die Fläche des Himmels in T′ und p′ treffen, so bezeichnet Bogen AT′ die Länge der Erde in der Ekliptik und Bp′ die **Länge des Planeten in der Bahn** (s. d. Art. **Breite** und **Länge**). Da aber alle Längen in der Ekliptik gezählt zu werden pflegen, so ziehe man durch den Mittelpunkt p′ des Planetenortes einen größten auf die Ekliptik senkrechten Kreis oder einen Breitenkreis p′P, welcher in P′ die Ekliptik schneidet, dann ist p′P′ die **Breite** des Planeten und AP′ die **reducirte Länge** des Planeten oder die Länge des Planeten in der Ekliptik. Der Bogen Kp′, von welchem die Breite P′p′ des

Planeten abhängt, ist das Argument der Breite. Dasselbe wird erhalten, wenn man von der Länge Bp' des Planeten in der Bahn, welche man aus der Epoche des Planeten findet, die Länge k des Knotens abzieht. — Um nun die heliocentrische Länge AP' = l eines Planeten in der Ekliptik und seine heliocentrische Breite P'p' = b für jede angegebene Zeit zu finden, wird man zuerst die Länge Bp' des Planeten in der Bahn und die Länge k des aufsteigenden Knotens, so wie die Neigung n der Bahn suchen. Diese Länge in der Bahn weniger k giebt das Argument der Breite Kp' = u. Aus u, n und k findet man in dem bei P' rechtwinkligen sphärischen Dreiecke P'Kp' die beiden Größen l und b, nach den Formeln $\tang (l - k) = \cos n \tang u$ und $\sin b = \sin n \sin u$. Aus der letzteren ergiebt sich b, aus der ersteren l — k, und da k bekannt ist, auch l.

Um nun, nachdem die heliocentrische Länge l und Breite b bekannt ist, auch noch die geocentrische Länge λ und Breite β zu finden, sei wieder L = AST' die Länge der Erde und R = ST so wie r = Sp der Halbmesser der Erd- und Planetenbahn. Man suche zunächst die Größe $r \cos b = r'$. Der Winkel TSP an der Sonne oder die Commutation ist = l — L, also eine bekannte Größe = C. Sucht man nun die Größe $r' \sin C$ und dividirt sie durch $r' \cos C - R$, so erhält man die Tangente von $\lambda - L$, also auch, da L bekannt ist, die geocentrische Länge λ des Planeten. Die geocentrische Breite β findet man aus der Formel

$$\tang \beta = \frac{\sin (\lambda - L) \tang b}{\sin C}.$$

Den Abstand des Planeten von der Sonne, welchen man hierbei braucht, findet man durch die Parallaxe des Planeten, worüber Art. Parallaxe die nöthige Auskunft giebt. Für untere Planeten eignet sich hierzu auch die Bestimmung der größten Digression, indem dann die Tangente seiner Bahn gerade auf die Erde zugeht, und folglich die Parallaxe des Planeten in dieser Stellung gleich dem Unterschiede der geocentrischen Längen der Sonne und des Planeten ist.

Die siderische Umlaufszeit des Planeten, welche von einem festen Punkte des Himmels aus gerechnet wird, bis der Planet zu demselben zurückgekehrt ist, giebt die eigentliche wahre Zeit, welche der Planet braucht, um einmal seine ganze Bahn zurückzulegen. Die tropische Revolution, d. h. die Zeit, in welcher der Planet wieder zur Frühlingsnachtgleiche zurückkehrt und die synodische Revolution, d. h. die Zeit zwischen zwei nächsten Conjunctionen des Planeten mit der Sonne, sind von der siderischen verschieden, weil sowohl der Frühlingspunkt als auch die Sonne selbst eine eigne Bewegung am Himmel haben. Die tägliche rückgängige siderische Bewegung des Frühlingspunktes ist = 0°,0000381 und die tägliche directe tropische Bewegung der Sonne oder der Erde beträgt 0°,98568. Dividirt man diese Zahlen durch 360, so erhält man 0,000000106 und 0,002738. Ist daher A die siderische Revolution eines Planeten, so erhält man die tropische Revolution desselben, wenn man A durch 1 + 0,000000106 A dividirt. Und ist eben so B die tropische Revolution, so erhält man die synodische, wenn man B durch 1 — 0,002738 B dividirt. Es kommt also vornämlich darauf an, irgend eine der Revolutionen mit Genauigkeit zu berechnen, um damit auch die beiden übrigen gegeben zu haben. Die siderische Umlaufszeit findet man zwar, wie oben bemerkt wurde, aus der Beobachtung der Durchgänge der Planeten durch ihre

Knoten, indeß sind diese Beobachtungen schwer mit der nöthigen Sorgfalt anzustellen, weil die meisten Planetenbahnen nur um kleine Winkel gegen die Erdbahn geneigt sind. Wenn man von einem Planeten zwei heliocentrische Orte genau kennt, so wie die Zeit, welche der Planet braucht, um von dem einen dieser Orte zu dem anderen zu gelangen, so kann man hieraus die Zeit seiner tropischen Revolution berechnen. Hat man die heliocentrischen Längen zweier solcher Orte b^0 und a^0, und die Zwischenzeit = c Tage, so ist $\frac{360\,c}{a-b}$ die Zeit seines Umlaufes. Man beobachtet daher den Planeten zur Zeit seiner Opposition, oder wenn es ein unterer Planet ist, zur Zeit einer seiner beiden Conjunctionen, wobei namentlich die Vorübergänge des Merkur und der Venus vor der Sonne vorzügliche Beachtung verdienen. In diesen beiden Fällen ist die von der Erde gesehene Länge des Planeten der von der Sonne gesehenen entweder gleich oder genau 180° von ihr verschieden, und die Beobachtung giebt daher ohne Weiteres die heliocentrische Länge. Hat man daher zwei nächste Oppositionen desselben Planeten mit der Sonne beobachtet, so würde die Zwischenzeit beider Beobachtungen auch zugleich die synodische Revolution des Planeten sein, woraus man die tropische und siderische Revolution ohne Weiteres nach den Angaben berechnen kann. Es hat sich jedoch gezeigt, daß wenn man auf diese Weise die Wiederkehr der Opposition beobachtet, sich merklich verschiedene Zeiträume ergeben, welches keinen anderen Grund haben kann, als daß die gemachte Voraussetzung, daß sich die Planeten in Kreisen mit gleichförmiger Geschwindigkeit um die Sonne bewegen, nicht genau richtig ist. Um nun aber doch in angegebener Weise die Revolutionen der Planeten berechnen zu können, legt man die Beobachtung zweier sehr weit auseinander liegenden Oppositionen bei der Rechnung zu Grunde, indem man die zwischen ihnen verlaufene Zeit mit der Anzahl der Umläufe, welche während derselben vor sich gegangen, dividirt *).

*) Littrow (a. a. O. S. 160) führt zur Erklärung, wiefern hierdurch der Fehler ausgeglichen werde, folgendes Beispiel an. Nehmen wir an, es sei uns die Opposition eines Planeten erhalten worden, die am 20. November alten Stils 1100 vor Christi Geburt im Augenblicke des Mittags in Peking beobachtet worden ist. In dem Jahre 1834 ist am 22. Mai neuen Stils zur Zeit, wo es an diesem Tage zu Peking wieder Mittag ist, eine andere Opposition desselben Planeten irgendwo in Europa beobachtet worden, und man weiß bereits, daß die synodische Revolution dieses Planeten nahe 535³/₄ Tage ist. Die Zwischenzeit zwischen beiden Beobachtungen beträgt 2933 Jahre und 183 Tage, oder da das Julianische Jahr 365¹/₄ Tage hat, und da der neue oder Gregorianische Stil in dem gegenwärtigen Jahrhundert um 12 Tage vor dem alten Stil voraus ist, so beträgt jene Zwischenzeit 2933 Jahre und 171 Tage oder 1071449,25 Tage. Da nun die synodische Revolution dieses Planeten nahe 535,7 Tage betragen soll, so sind in dieser Zwischenzeit volle 2000 synodische Revolutionen vorübergegangen, und man wird daher die wahre Dauer einer solchen Revolution erhalten, wenn man die Zahl 1071449,25 durch 2000 dividirt, dies giebt für die gesuchte wahre synodische Revolution 535,724625 Tage. Nehmen wir nun an, die erste jener beiden Beobachtungen wäre fehlerhaft und volle 6 Stunden zu spät beobachtet worden, dann würde die wahre Zwischenzeit zwischen beiden Beobachtungen ebenfalls um 6 Stunden größer und daher gleich 1071449,5 Tage gewesen sein. Dividirt man auch diese Zahl wieder durch die Anzahl der Revolutionen oder durch 2000, so erhält man für die wahre synodische Revolution des Planeten 535,72475 Tage, also nur 0,000125, d. h. 10,8 Secunden größer als vorher. Jener Fehler von 6 Stunden ist also hier durch die lange Zwischenzeit auf 10,8 Secunden, d. h. auf seinen 2000sten Theil herabgebracht worden. Die Griechen haben in ähn-

Die Verbreitung des Copernicanischen Systems geschah anfangs nur langsam. Zwar fanden sich schon vor dem Erscheinen des Copernicanischen Werkes, mit dessen Veröffentlichung man aus Rücksichten gegen Rom zögerte, Anhänger, aber es fehlte auch nicht an Gegnern. Rheticus war von dem neuen Systeme begeistert, Mästlin nahm dasselbe später an, Kepler gab ihm den Vorzug vor dem ägyptischen, und durch die Verdienste des Letzteren erhielt es schließlich die Verbesserungen, durch welche die gewaltigen Fortschritte der Astronomie seitdem möglich gemacht wurden. Copernicus hatte sein System nicht eigentlich mathematisch begründet, sondern es nur als eine Idee hingestellt, welche wohl auch auf Wahrscheinlichkeit Anspruch machen dürfe. Es blieben daher noch manche Ungleichheiten in der Bewegung der Planeten unerklärt. Dies war wohl mit ein Grund, daß namentlich Tycho de Brahe, der durch seine genauen Beobachtungen sich unsterbliche Verdienste erworben und namentlich Kepler die Grundlage zu seinen Entdeckungen geboten hat, sich nicht für das Copernicanische System entscheiden konnte. Das epicyklische System genügte ihm freilich auch nicht, und daher stellte er ein eigenes System auf, was allerdings nur historische Bedeutung gewonnen hat, da es dem Copernicanischen Systeme gegenüber keinen Bestand haben konnte.

Nach Tycho's Systeme steht die Erde fest und unbeweglich im Mittelpunkte des Weltalls; um dieselbe bewegt sich der Mond; dann in einem größeren Abstande die Sonne; um diese als Centrum die unteren Planeten auf Kreisen, deren Halbmesser kleiner waren, als der des Kreises, welcher der Sonne angewiesen war — wie in dem verbesserten Ptolemäischen Systeme —, aber auch die oberen Planeten ließ er um die Sonne als Centrum in Kreisen sich bewegen.

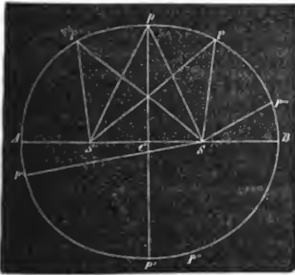
Ein Fehler des Copernicanischen Systems war die Annahme, daß die Planeten sich in Kreisen um die Sonne bewegen sollten. Unter dieser Annahme hätten die Bewegungen der Planeten gleichmäßig sein müssen; schon die Alten hatten aber bemerkt, daß die Planeten zu derselben Zeit, in welcher sie die größte und kleinste heliocentrische Geschwindigkeit hatten, auch die größten und kleinsten Durchmesser hatten. Besonders bemerkte man dies am Monde und an der Sonne. Daher nahmen sie an, daß sich die Erde nicht genau im Mittelpunkte der kreisförmigen Mondbahn und der Sonnenbahn befände, sondern etwas außerhalb dieses Punktes, so daß es zwei Punkte, Absiden genannt, gäbe, bei deren einem, dem Apogeum, der Mond am entferntesten, und bei deren anderem, dem Perigeum, der Mond am nächsten der Erde wäre. Eben so nahmen sie zwei Absiden der Sonnenbahn an, oder, worauf es nach Erkenntniß der Bewegung der Erde hinaus kam, der Erdbahn, deren eine das Aphelium, die andere das Perihelium ist. Wären die Bahnen des Mondes und der Erde kreisförmig, so müßte die Größe der Durchmesser in demselben Verhältnisse zunehmen und abnehmen, wie die Geschwindigkeit; da dieses nicht der Fall ist, so geht daraus hervor, daß die Erklärung der Alten nicht die richtige war. Aus dem wirklichen Verhältnisse der Durchmesser der Planeten und der Sonne zu ihren Geschwindig-

---

licher Weise schon die Umlaufszeiten der ihnen bekannten Planeten bestimmt, und zwar mit so großer Genauigkeit, daß sie ziemlich mit unseren jetzigen Angaben in dieser Beziehung übereinstimmen.

keiten folgerte **Kepler** endlich, daß die Bahnen der Planeten nicht Kreise, sondern **Ellipsen** seien.

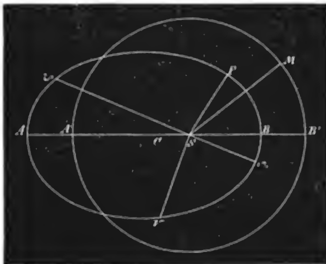
Nehme man an, daß S und S′ (s. beistehende Figur) zwei feste Punkte in einer Ebene sind, an welche ein Faden SPS′ mit seinen Enden angebunden ist.



Diesen Faden spanne man mit der Spitze eines Bleistifts und führe diese Spitze so herum, daß fortwährend der Faden gespannt bleibt, so entsteht die krumme Linie AP′ BP″, welche eine **Ellipse** ist. Da sich die Länge des Fadens fortwährend gleich bleibt, so ist für **jeden** Punkt P dieser Linie SP + S′P gleich, z. B. = SP′ + SP′ und eben so = SA + S′A = SB + S′B. Aus dieser letzten Gleichung folgt dann, daß SA + S′A − SS′ = SB + S′B − SS′, d. h. 2 S′A = 2 SB also S′A = SB, folglich SA + S′A = SB + S′B = SA + SB = S′B + S′A = AB und eben so also auch SP + S′P = SP′ + S′P′ ꝛc. = AB. Die Linie AB heißt nun die **große Axe** der Ellipse, S und S′ heißen die **Brennpunkte** derselben, und jede zwei von den Brennpunkten nach irgend einem Punkte der Ellipse, z. B. P oder P′ gezogene gerade Linien heißen die Radii vectores dieses Punktes. Man hat hiernach den eben gefundenen Satz in Worten ausgedrückt: Bei der Ellipse ist die Summe der beiden Radii vectores jedes Punktes gleich der großen Axe. Die Endpunkte der großen Axe der Ellipse heißen ferner die **Scheitelpunkte**, der Mittelpunkt der großen Axe bei C heißt der **Mittelpunkt** und der Abstand der Brennpunkte von diesem CS = CS′ heißt die **Excentricität** der Ellipse. Errichtet man im Mittelpunkte auf die große Axe eine Senkrechte, so erhält man die **kleine Axe** der Ellipse = pp′. Auch für diese gilt das Gesetz der Ellipse. Es ist folglich Sp + S′p = AB, und da in den zwei congruenten rechtwinkligen Dreiecken SCp und S′Cp, Sp = S′p ist, so ist folglich $Sp = S'p = \frac{AB}{2}$. Aus der Natur des rechtwinkligen Dreiecks folgt, daß $\overline{Sp}^2 = \overline{SC}^2 + \overline{Cp}^2 = \left(\frac{AB}{2}\right)^2$, d. h. das Quadrat der halben großen Axe ist gleich der Summe der Quadrate der halben kleinen Axe und des Quadrates der Excentricität. Sind mithin 2 dieser Größen bekannt, so kann man die dritte durch Rechnung finden.

Kepler machte nun die Bemerkung, daß sich die Planeten sämmtlich in Ellipsen um die Sonne bewegen, und daß sich die Sonne nicht im Mittelpunkte, sondern in dem Brennpunkte, z. B. bei S jeder dieser Ellipsen befinde. Jeder Planet ist der Sonne am nächsten in dem Perihelium bei B, wo er dann den größten Durchmesser, von der Sonne aus betrachtet, zeigt und sich am schnellsten bewegt, und am entferntesten von der Sonne in dem Punkte A, dem Aphelium, wo er den kleinsten Durchmesser zeigt (der größeren Entfernung wegen), und sich am langsamsten bewegt. Die Absidenlinie ist die große Axe der Bahn. Stellen

wir uns nun einen Planeten durch den Radius Vector mit der Sonne verbunden vor, so wird dieser Radius Vector während des ganzen Umlaufes des Planeten um die Sonne die Fläche beschreiben, welche von der elliptischen Bahn eingeschlossen wird, und in jeder bestimmten Zeit, z. B. in einem Tage, wird der Radius Vector einen gewissen Theil dieser Fläche zurücklegen. Kepler fand nun, daß die Flächen, welche der Radius Vector in bestimmten Zeiten, z. B. in Tagen, Stunden rc. zurücklegt, sich genau wie diese Zeiten verhalten. Man sieht nun klar, warum sich jeder Planet im Perihelium schneller als im Aphelium bewegen muß, denn wenn er z. B. in einem Tage von B bis P‴ beim Perihelium fortrückt, so hat sein Radius Vector die Fläche BSP‴ zurückgelegt und diese Fläche muß gleich sein derjenigen Fläche, die der Radius Vector in der Nähe des Apheliums ebenfalls in einem Tage durchläuft = SAP⁗, wo dann AP⁗ viel kleiner als BP‴ sein muß, weil die Fläche ASP⁗ bei weitem länger gedehnt als die Fläche BSP‴ ist, der sie doch gleich sein soll. Die Oberfläche der ganzen Ellipse ist gleich dem vierten Theile des Productes ihrer großen und kleinen Axe multiplicirt mit 3,14159. Die so gefundene Fläche dividirt man mit der in Tagen ausgedrückten Umlaufszeit des Planeten, um die Fläche zu finden, welche in einem Tage von dem Radius Vector des Planeten zurückgelegt wird. Kennt man folglich die Zeit, in welcher der Planet sich im Perihelium befand, und die Zeit, wo er sich bei P auf seiner Bahn befindet, so ist die Zwischenzeit in Tagen ausgedrückt, multiplicirt mit dem Flächenstücke, welches der Radius Vector in einem Tage zurücklegt, gleich dem Flächenstücke BSP. Um nun hieraus den Ort des Planeten in seiner Bahn zu bestimmen, muß man für den Sector BSP einer Ellipse den Radius Vector SP und den Winkel dieses Radius mit der großen Axe: BSP berechnen können. Von der Art, in welcher diese Aufgabe gelöst wird, giebt Littrow *) im Folgenden eine Vorstellung. Man denke sich einen um S (s. beistehende Figur) als Mittelpunkt beschriebenen Kreis, dessen Halbmesser SA′ = SB′ gleich der halben großen Axe CB = CA der Ellipse ist. In diesem Kreise bewege sich ein Punkt M gleichförmig und so, daß er mit dem wahren Planeten, der in der Peripherie der Ellipse einher geht, immer zu gleicher Zeit durch die große Axe AB derselben, zu beiden Seiten des Punktes S geht. Wenn also der Planet im Perihelium B ist, so ist jener Punkt in B′, und die Fläche des elliptischen Sectors, so wie der Bogen dieses Kreises, die beide von der Linie SBB′ gezählt werden, sind hier beide gleich Null. Wenn aber nach einer halben Revolution der Planet in der Ellipse nach A, und jener Punkt in der Peripherie seines Kreises nach A′



kömmt, so ist die von dem Radius Vector in der Zwischenzeit beschriebene Fläche des elliptischen Sectors genau die Hälfte von der Fläche der ganzen Ellipse, so wie

*) A. a. O. S. 173.

auch der von jenem Punkte beschriebene Bogen B′MA′ genau die Hälfte der ganzen Peripherie seines Kreises ist. Und dasselbe Verhältniß zwischen dieser Fläche des Sectors und dem Bogen des Kreises wird auch für jede andere Zeit statt haben, weil beide, nach der vorhergehenden Voraussetzung, gleichförmig wachsen, und weil beide von der Linie SBB′ an gezählt werden. Ist also seit jener Epoche, wo der Planet durch sein Perihelium B ging, z. B. der zwanzigste Theil der Umlaufszeit verflossen, und ist PBS ebenfalls der zwanzigste Theil der Fläche der ganzen Ellipse, so wie B′M der zwanzigste Theil des Umfangs des Kreises, oder endlich, was dasselbe ist, der Winkel B′SM der zwanzigste Theil von 360 Graden, so wird der Planet in P und jener Punkt zu derselben Zeit in M sein. Man sieht demnach, daß man statt jenes elliptischen Sectors den Winkel B′SM dieses Punktes substituiren kann, und dann aus dem gegebenen Winkel B′SM jenes Punktes den Winkel BSP und den Radius Vector SP des Planeten zu finden hat. Was nun den heliocentrischen Ort dieses Punktes M betrifft, so wird er ganz so, wie der des nach den älteren Systemen in einem Kreise sich bewegenden Planeten, für jede gegebene Zeit ohne Mühe gefunden werden können. Man wird nämlich, wenn man die Zeit kennt, wo der Punkt in B′ durch die Linie SB′ ging, und wenn überdies die Umlaufszeit dieses Punktes in seinem Kreise, die mit der Umlaufszeit des Planeten in seiner Ellipse identisch ist, bekannt ist, den Ort des Punktes M in der Peripherie seines Kreises durch eine einfache Division bestimmen. Man nennt daher auch diesen Punkt den mittleren Planeten, während der eigentliche Planet im Gegensatze mit jenem, der wahre genannt wird. In der That ist auch, weil die Umlaufszeiten beider um den Punkt S, oder um die Sonne, einander gleich sind, die durch seine ganze Bahn gleichförmige Geschwindigkeit dieses mittleren Planeten gleich dem Mittel aus allen verschiedenen Geschwindigkeiten des wahren Planeten. Es ist also, wie man sieht, sehr leicht, den Winkel B′SM des mittleren Planeten für jede gegebene Zeit zu finden, und es handelt sich nur noch darum, wie man, wenn m gegeben ist, auch den Winkel BSP und den Radius Vector SP = r des wahren Planeten für dieselbe Zeit finden soll. Man nennt aber den Winkel B′SM oder m die mittlere Anomalie und den Winkel BSP oder v die wahre Anomalie des Planeten. Bei allen Ellipsen deren Excentricität CS gegen ihre halbe große Axe CB sehr klein ist, (ein Fall, der in der That bei allen Planeten, besonders bei den sieben älteren, statt hat), bestimmt man nun den Radius Vector und die wahre Anomalie mit hinreichender Genauigkeit, wie folgt. Bezeichnet man dieses Verhältniß $\frac{CS}{CB}$ in jeder Ellipse durch e, so ist die wahre Anomalie v immer gleich der mittleren m mehr dem doppelten Producte der Größe e in den Sinus von m, und der Radius Vector r ist immer gleich der halben großen Axe, weniger dem Producte dieser Halbaxe in die Größe e und in den Cosinus von m, wobei diese Winkel m und v ohne Unterbrechung von 0° bis 360° gezählt werden. Demnach besteht also die Bewegung jedes Planeten aus zwei Theilen. Der erste ist gleichförmig, gehört gleichsam dem Kreise an und ist auch ganz derselbe, den wir schon im Vorhergehenden betrachtet haben. Der andere ist aber ungleichförmig, gehört der Ellipse an, und ist gleich 2 e sin m. Man nennt diesen zweiten Theil die Gleichung der Bahn, und sie wird mit ihrem Zeichen zur mittleren Länge des Planeten gesetzt, um die wahre oder elliptische Länge desselben in der Bahn zu erhalten. Eben so ist die wahre

oder elliptische Distanz des Planeten von der Sonne, oder sein Radius Vector, aus zwei ähnlichen Theilen zusammengesetzt, davon der erste gleich der halben großen Are a, und der andere gleich dem Producte dieser Halbare in die Größe a e cos m ist. Um diese Rechnungen auszuführen, muß man also, nebst den bereits oben angeführten vier Elementen, noch zwei andere kennen, nämlich die Excentricität CS, oder, da die halbe große Are CA schon bekannt ist, das Verhältniß e dieser Excentricität zur großen Halbare, und die Lage dieser Are, oder, was dasselbe ist, die Länge des Periheliums B. Ist nämlich ☊S☋ (s. letzte Figur) die Knotenlinie der Bahn mit der Ekliptik, also ☊ der aufsteigende Knoten, von welchem sich der Planet über die Ekliptik, gegen Norden, erhebt und nimmt man von diesem Punkt ☊, in der Ebene der Bahn, den Winkel ☊SV eben so groß, als derselbe Punkt ☊ von dem Frühlingsnachtgleichenpunkte in der Ebene der Ekliptik absteht, so ist VSB die Länge des Periheliums. Die folgende Tafel enthält diese beiden Elemente zugleich mit den vier ersten, die hier zur bequemen Uebersicht zusammengestellt, und sämmtlich auf den mittleren Pariser Mittag des 1. Januar 1810 gebracht sind, für die bis zum Jahre 1845 bekannten Planeten.

	Halbe große Are	Verhältniß der Excentricität e	Epoche 1810	Tägliche tropische Bewegung	Länge des Periheliums 1810	Säcul. Aenderung, tropisch	Länge des aufst. Knotens 1810	Säcul. Aend. des Knotens, tropisch	Neigung
Merkur	0,38710	0,2056	193°32′,32	4°,09238	74°30′,23	1°,55	46° 4′,02	1°,18	7° 0′,00
Venus	0,72333	0,0068	236°16′,25	1°,60217	128°44′,30	1°,32	74°57′,30	0°,88	3°23′,47
Erde	1,00000	0,0168	99°29′,03	0°,98568	99°39′,37	1°,72	— —	—	— —
Mars	1,52369	0,0932	346°28′,58	0°,52407	332°33′,82	1°,83	48° 3′,80	0°,75	1°51′,08
Vesta	2,3632	0,1838	105°44′,90	0°,27120	250°19′,0	1°,39	103°10′,20	1°,39	7° 7′,78
Juno	2,6704	0,2544	93°21′,20	0°,22591	53°16′, 0	1°,39	171° 9′,83	1°,39	13° 4′,43
Ceres	2,7672	0,0785	61°12′,53	0°,21414	146°44′, 0	1°,39	80°56′,92	1°,39	10°37′,50
Pallas	2,7683	0,2440	49° 9′,38	0°,21400	121°22′, 0	1°,39	172°33′,90	1°,39	34°37′,47
Jupiter	5,20116	0,0483	25°24′,03	0°,08313	11°17′,80	1°,38	98°30′,07	0°,96	1°18′,85
Saturn	9,53781	0,0562	244°37′,53	0°,03350	89°15′,18	1°,93	112° 0′,92	0°,77	2°29′,63
Uranus	19,18318	0,0467	216°27′,98	0°,01177	167°29′,62	1°,46	73°53′,58	0°,39	0°46′,43

Diese Tafel giebt zugleich die Aenderung der Länge des Knotens und des Periheliums für 100 Jahre, von der Epoche 1810 an gerechnet. Zwar ist auch die Neigung n und die Größe e ähnlichen Veränderungen unterworfen, sie sind aber so klein, daß sie hier ganz übergangen werden können.

Mit Hülfe der eben gegebenen Tafel kann man den heliocentrischen Ort eines Planeten für jede gegebene Zeit finden, wie dies Littrow näher an folgendem Beispiele erläutert. Gesetzt wir suchen den heliocentrischen Ort Saturns für den 12. November 1835. Nach der Tafel ist die Epoche für den Anfang 1810 = 244°,6255. Das Intervall zwischen beiden Zeiten ist = 25 Jahre 316 Tage, wozu noch 6 Schalttage kommen. Die tägliche tropische Bewegung Saturns ist = 0°,03350, welches für 25 J. 305°,6875 und für 322 T. 10°,7870 giebt, diese Angaben hinzu addirt zu der von 1810 giebt 561°,1, woraus die Länge des Saturns in der Bahn = 561°,1 — 360° = 201°,1 = 201°6′. Die Länge k des aufsteigenden Knotens ist für 1810 = 112°0′,92, die Veränderung

in 25 J. 11',4, also für die gesuchte Zeit k = 112° 12' und die Neigung n = 2° 29',6. Die halbe große Axe der Bahn ist = 9,53781. Die mittlere Anomalie m erhalten wir, wenn wir die Länge des Periheliums von der Länge des Planeten in der Bahn subtrahiren. Jene ist für 1810 89° 15',18, die Aenderung für 25 Jahre = 28',92, also dieselbe für den 12. November 1835 = 89° 44',10, also m = 201° 6' — 89° 44',10 = 111° 21',9. Sucht man hiermit und mit der Größe e = 0,0562 die wahre Anomalie v und den Radius Vector r des Saturn, so findet man 2 e sin m auf Bogen gebracht = 5° 49' und a e cos m = 0,19515, so daß daher die wahre Anomalie des Planeten v = m + 5°,49 = 117° 11' und der Radius Vector r = 9,7330 ist. Addirt man dann zu der wahren Anomalie die Länge des Perihels und subtrahirt von der Summe die Länge des Knotens, so hat man das Argument der Breite u = 94° 43'. Nach den oben angegebenen Formeln ist nun die heliocentrische Länge l und die heliocentrische Breite b zu finden. Diese Formeln sind:

$$\text{tang}\,(l - k) = \cos n \,\text{tang}\, u \text{ und}$$
$$\sin b = \sin n \sin u; \text{ d. h.}$$
$$\log \text{tang}\,(l - k) = \log \cos (2^0\, 29',6) + \log \text{tang}\,(94^0\, 43')$$
$$\text{und } \log \sin b = \log \sin (2^0\, 29',6) + \log \sin (94^0\, 43'),$$
$$\text{d. h. } \log \text{tang}\,(l - k) = 9{,}99959 + 1{,}08350 = 11{,}08309$$
$$\text{und } \log \sin b = 8{,}63678 + 9{,}99853 = 18{,}63531$$
$$\text{also } l - k = 94^0\, 43'$$
$$k = 112^0\, 12$$
$$\text{folglich } l = 206^0\, 55'$$
$$\text{und } b = 2^0\, 29'$$

Die geocentrische Länge λ und Breite β wird erhalten (s. oben S. 334) nach den Formeln:

$$\text{tang}\,(\lambda - L) = \frac{r \cos b \sin C}{r \cos b \cos C - R} \text{ und } \text{tang}\,\beta = \frac{\sin (\lambda - L) \,\text{tang}\, b}{\sin C},$$ worin r der Halbmesser der Planetenbahn = 9,538, R der Halbmesser der Erdbahn = 1, L die Länge der Erde = 49° 22', und C die Commutation = l — L = 206° 55' — 49° 22' = 157° 33'. Man findet bei der Berechnung λ = 209° 0' und β (nördl. Br.) = 2° 16'.

Zur leichteren Berechnung des Ortes der Planeten für jede gegebene Zeit hat man eigene Planetentafeln, welche dieselbe sehr erleichtern, berechnet, die sich auf eine längere Reihe von Jahren beziehen, welche hier aber, auch nur zum Theil wiederzugeben, zu weitläuftig sein würde.

Eine der wichtigsten Entdeckungen Keplers, das dritte der drei wichtigen von ihm gefundenen Gesetze, bezieht sich auf die Abstände der Planeten von der Sonne, indem derselbe fand, daß sich die Quadrate der siderischen Umlaufszeiten wie die Würfel der großen Axen der Bahnen der Planeten verhalten.

Hiernach kann man aus den leicht zu beobachtenden Umlaufszeiten die großen Axen berechnen. Nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze bewegen sich die Planeten so, daß die Flächen ihrer elliptischen Sectoren der Zeit proportional sind,

d. h. daß diese Fläche, dividirt durch die Zeit, in welcher sie zurückgelegt wurde, für jeden Planeten eine beständige Größe ist. Für jeden Planeten ist diese beständige Größe eine andere; der Zusammenhang dieser Größen geht hervor, wenn man das erste und dritte Gesetz zugleich betrachtet. Wenn man in einem der beiden Brennpunkte einer Ellipse auf der großen Axe eine Senkrechte errichtet, so heißt diese Linie, welche auf beiden Seiten von der Peripherie der Ellipse begrenzt wird, der Parameter der Ellipse, und der halbe Parameter ist gleich dem Quadrate der halben kleinen, dividirt durch die halbe große Axe der Ellipse. Sind nun $2a$, $2a'$ die großen, $2b$, $2b'$ die kleinen Axen, $2p$, $2p'$ die Parameter und f, f' die Oberflächen zweier Ellipsen, zu denen die Umlaufszeiten t und t' gehören, so hat man nach dem ersten Gesetze in der einen Ellipse $f = Ct$ und in der anderen $f' = C't'$, wo C und C' die zwei erwähnten constanten Größen bezeichnen, die bei jeder einzelnen Planetenbahn sich gleich bleiben, bei den verschiedenen Bahnen aber verschieden sind, und deren absolute Größe für jede einzelne Bahn bestimmt werden soll. Nach dem dritten Kepler'schen Gesetze hat man für beide Planeten $a^3 t'^2 = a'^3 t^2$. Die Oberfläche der ersten Ellipse ist (s. oben) $f = 3{,}14159\, a.\, b$, und die Oberfläche der zweiten Ellipse $f' = 3{,}14159\, a'.\, b'$. Man kann das erste Gesetz also auch so ausdrücken, $3{,}14159\, a.\, b = Ct$ und $3{,}14159\, a'.\, b' = C't'$. Vergleicht man diese beiden Ausdrücke mit dem oben für das dritte Gesetz gegebenen Ausdruck, so findet man, daß sich verhalten

$$C : C' = \sqrt{p} : \sqrt{p'}.$$

Das zweite Kepler'sche Gesetz kann mithin auch so ausgedrückt werden: Die Fläche, welche der Radius Vector des Planeten beschreibt, verhält sich zu der Zeit, in welcher sie beschrieben wird, wie das Product von zwei beständigen Größen. Von diesen zwei Größen ist die eine gleich der Quadratwurzel aus dem halben Parameter und gehört daher jeder einzelnen Planetenbahn ausschließlich an; die andere aber ist eine allen Planetenbahnen gemeinschaftliche beständige Größe, die sich leicht bestimmen läßt, wenn man nur die Fläche einer einzigen dieser Planetenbahnen mit ihrem Parameter und der Umlaufszeit des Planeten in seiner Bahn kennt. Drückt man die Umlaufszeiten in Tagen und Theilen des Tages aus, so findet man für diese allen Planeten- und Kometenbahnen gemeinschaftliche Constante die Größe 0,017202 und diese ist es, welche unserem ganzen Sonnensysteme eigenthümlich ist *). Alle Planeten werden durch das dritte Gesetz auf die Sonne bezogen, an welche sie durch eine sich durch das ganze Sonnensystem gleichbleibende, nur durch die Entfernung modificirte Kraft gebunden sind, welche die eigentliche Ursache ihrer Bewegung ist.

Diese Verbesserung des Copernicanischen Systems durch Kepler ist zu wichtig, als daß wir nicht noch etwas länger dabei verweilen sollten, um wenigstens das Historische noch nachzutragen. Mit Benutzung der genauen Beobachtungen Tycho's (geb. 14. December 1546, gest. 24. October 1601) berechnete Kepler (geb. 27. December 1571, gest. 15. November 1631) eine große Anzahl von

*) Andere Gestirne, die einen anderen Körper, um den sie sich bewegen, haben, z. B. die Satelliten des Jupiter, haben auch eine andere dieser entsprechende charakteristische Zahl.

Entfernungen des Mars von der Sonne, fand aber, daß diese nicht als Radien in einen Kreis paßten. Zufällig kam er auf den Gedanken, nachzusehen, ob eine Ellipse nicht besser passen möchte, und dies bewährte sich. Es war ein glücklicher Umstand, daß diese Probe gerade bei dem Mars gemacht wurde, da dieser unter den damals bekannten oberen Planeten sich durch seine Excentricität auszeichnet und mithin der Unterschied besonders auffallend sein mußte. Der glückliche Griff beim Mars fand durch die Untersuchung der übrigen Planeten, die Erde mit gerechnet, seine Bestätigung, und so war das erste Kepler'sche Gesetz gefunden, nach welchem sich die Planeten nicht in Kreisen, sondern in Ellipsen bewegen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht.

Da ein Kreis in allen Theilen gleichmäßig gekrümmt ist, so hatte man angenommen, daß die Himmelskörper gleiche Stücke der Bahn in gleichen Zeiten durchlaufen müßten. War die Bahn eine Ellipse, so war es wahrscheinlich, daß hier die Bewegung nicht gleichmäßig war. Kepler fand das Letztere bald, aber erst nach unzähligen Versuchen das zweite Gesetz, nach welchem die Planeten in gleichen Zeiten gleiche Ellipsenausschnitte durchlaufen. In seinem Werke: De motibus stellae Martis 1609 machte Kepler zuerst diese beiden Gesetze bekannt; erst am 15. Mai 1618 entdeckte er das dritte Gesetz, nach welchem sich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Cuben der mittleren Entfernungen verhalten, und zwar kam er auf die dahin zielenden Untersuchungen, weil er zwischen den einzelnen Planeten, als zu einem Sonnensystem gehörig, einen innigen Zusammenhang vermuthete. Dies dritte Gesetz veröffentlichte Kepler in seiner Schrift: Harmonia mundi 1618.

Es war ein Glück, daß die durch Kepler in der Astronomie zu Stande gebrachte Revolution mit der Erfindung der Fernröhre zusammenfiel, durch welche neue Welten aufgeschlossen wurden, daß das eben entdeckte Mondensystem des Jupiter gewissermaßen das Sonnensystem im Kleinen wiedergab, daß Galilei über die Schwere Aufschluß gegeben hatte, daß Napier durch seine Logarithmen dem Astronomen das Rechnen erleichtert hatte und dergleichen mehr. Das rege Leben, welches auf dem hier in Rede stehenden Gebiete herrschte, führte endlich Newton (geb. 25 December 1642, gest. 20. März 1727) zu der Entdeckung der allgemeinen Gravitation, aus welcher der Beweis geführt wurde, daß die Himmelskörper sich nicht anders bewegen konnten, als es Kepler gefunden hatte *).

Von den bisher entdeckten Planeten unseres Sonnensystems kannten die Alten außer unserer Erde nur die mit unbewaffnetem Auge sichtbaren: Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn. Am 13. März 1781 bemerkte Herschel durch sein 7füßiges Fernrohr bei einer 227maligen Vergrößerung, daß das sogenannte gregorium sidus, welches für einen Fixstern sechster Größe gehalten wurde, eine Scheibe von merklichem Durchmesser hatte. Er verfolgte den Stern anhaltend und gewann die Ueberzeugung, daß derselbe ein Planet sein müsse. Dies war der Uranus, der noch jenseits des Saturn seine Bahn beschreibt.

Es zeigen nun die mittleren Entfernungen dieser Planeten von der Sonne folgendes merkwürdige Gesetz:

---

*) Vergl. Art. Bewegung, Bd. I. S. 833.

Merkur . .	8 Millionen Meilen	8
Venus . .	$8 + 3 . 2$ . . .	14
Erde . .	$8 + 3 . 2^2$ . .	20
Mars . .	$8 + 3 . 2^3$ . .	32
. . . . .	. . . .	. .
Jupiter . .	$8 + 3 . 2^5$ . .	104
Saturn . .	$8 + 3 . 2^6$ . .	200
Uranus . .	$8 + 3 . 2^7$ . .	392

Auffallend ist hier die Lücke zwischen Mars und Jupiter, auch fragt es sich, ob mit dem Uranus die Reihe abgeschlossen sei; dort scheint ein Planet in der Entfernung $8 + 3 . 2^4 = 56$ Millionen Meilen zu fehlen, hier könnten noch weitere Planeten in den Entfernungen $8 + 3 . 2^8$, $8 + 3 . 2^9$ ... Millionen Meilen folgen; ja man hat auch die Frage aufgeworfen, ob es nicht vielleicht auch noch Planeten gebe, welche näher als Merkur an der Sonne ständen.

Namentlich Bode machte auf die Lücke zwischen Mars und Jupiter aufmerksam; v. Zach berechnete sogar die Bahn des hier fehlenden Planeten, legte aber seine Resultate versiegelt bei Bode in Berlin und bei dem Grafen Brühl in London nieder. Da man nichts fand, so meinte man, der Planet werde sehr klein sein und sich deshalb schwer finden lassen; doch beschloß man auf ihn Jagd zu machen, und eine Anzahl Astronomen theilte deshalb die Sternbilder des Thierkreises unter sich, um Jeder in dem kleineren Reviere zu suchen. Der Fund sollte sofort an v. Zach mitgetheilt werden. Piazzi in Palermo wußte nichts von diesem Unternehmen, beschäftigte sich aber mit seinem großen Sternverzeichnisse, und hierbei entdeckte er am 1. Januar 1801 im Sternbilde des Stieres einen Stern, der in keinem Sternverzeichnisse stand und seinen Standpunkt veränderte. Bode wurde hiervon in Kenntniß gesetzt; von diesem erfuhr es v. Zach. Mittlerweile war der von Piazzi vom 1. Januar bis zum 11. Februar beobachtete Stern wieder verschwunden, und nach den Berechnungen der Bahn, welche Piazzi selbst, außerdem Olbers in Bremen und Burkhardt in Paris unternahmen, konnte man ihn nicht wieder finden; endlich entdeckte man ihn wieder nach einer Berechnung, welche Gauß, damals in Braunschweig, mit ungemeinem Scharfsinne unter Zugrundelegung von Piazzi's Beobachtungen angestellt hatte. Dies geschah noch in dem Jahre 1801, und der Planet, dessen Entfernung ihm zwischen Mars und Jupiter seine Stelle anwies, erhielt den Namen Ceres.

Die Lücke war somit durch einen kleinen Planeten ausgefüllt; da entdeckte am 28. März 1802 Olbers im Sternbilde der Jungfrau einen zweiten kleinen Planeten, welcher ebenfalls in jene Lücke zu stehen kam und Pallas genannt wurde. Am 1. September 1804 fand Harding, damals in Lilienthal, später in Göttingen, mit Verzeichnung der Sterne bis zur 9. Größe beschäftigt, einen dritten Planeten, die Juno, welcher ebenfalls in die angegebene Lücke paßte.

So hatte man drei Planeten statt eines einzigen zwischen Mars und Jupiter gefunden. Ceres und Pallas zeigten in der Größe, Lage ihrer Bahn und Bewegung große Aehnlichkeit, und so kam Olbers auf den Gedanken, diese kleinen Planeten möchten Trümmer eines größeren sein, der auf irgend eine Weise eine Explosion erlitten habe. Wäre dies richtig, so könnte man auf die Auffindung noch mehrerer Stücken rechnen, und am sichersten würde man sie da finden, wo sie mit ihren Bahnen die Erdbahn durchschneiden, was in dem Sternbilde der

Jungfrau geschieht. Olbers beobachtete hier fleißig und so entdeckte er am 29. März 1807 die Vesta.

Man nannte diese kleinen Planeten Planetoiden; ungeachtet aber nach der Hypothese von Olbers noch mehrere Stücken sich hätten finden müssen, wollte dies doch nicht gelingen, so daß man die Idee von der Zertrümmerung eines größeren Planeten zwischen Mars und Jupiter nicht gelten lassen mochte. Da entdeckte Henke in Driesen, ein Postbeamter außer Dienst, der sich für astronomische Beobachtung sehr interessirt und mit Revision der Sternkarten beschäftigt, am 8. December 1845 noch einen 5. Planetoiden, die Asträa. Dies gab einen neuen Impuls, nach ferneren Genossen nachzusuchen, und so ist seit 1847 bis jetzt kein Jahr vergangen, in welchem nicht einige neue Planetoiden entdeckt worden wären, deren Zahl jetzt schon 40 übersteigt. Folgendes Verzeichniß giebt das Nähere *):

Planetoid	Tag der Entdeckung	Entdecker
1. Ceres . . .	1. Januar 1801	Piazzi in Palermo.
2. Pallas . .	28. März 1802	Olbers in Bremen.
3. Juno . . .	1. September 1804	Harding in Lilienthal.
4. Vesta . . .	29. März 1807	Olbers in Bremen.
5. Asträa . .	8. December 1845	Henke in Driesen.
6. Hebe . . .	1. Juli 1847	derselbe.
7. Iris . . .	13. August 1847	Hind in London.
8. Flora . . .	18. October 1847	derselbe.
9. Metis . . .	25. April 1848	Graham in Markree.
10. Hygiea . .	12. April 1849	Annibale de Gasparis in Neapel.
11. Parthenope .	11. Mai 1850	derselbe.
12. Victoria . .	13. September 1850	Hind.
13. Egeria . .	2. November 1850	Gasparis.
14. Irene . . .	19. Mai 1851	Hind.
15. Eunomia . .	29. Juli 1851	Gasparis.
16. Psyche . . .	17. März 1852	derselbe.
17. Thetis . . .	17. April 1852	Luther in Bilk bei Düsseldorf.
18. Melpomene .	24. Juni 1852	Hind.
19. Fortuna . .	22. August 1852	derselbe.
20. Massalia . .	19. September 1852	Gasparis.
	20. " "	Chacornac in Marseille.
21. Lutetia . .	15. November 1852	Maler H. Goldschmidt in Paris.
22. Calliope . .	16. November 1852	Hind.
23. Thalia . .	15. December 1852	derselbe.
24. Themis . .	6. April 1853	Gasparis.

*) Anfangs gab man den Planetoiden auch besondere Zeichen z. B. Ceres ⚳, Pallas ⚴; als aber ihre Anzahl sich schnell mehrte, so zog man es vor einen einfachen Kreis zu wählen, und in denselben die Zahl zu setzen, welche angiebt, der wievielste Planetoid derselbe in der Reihe ist, z. B. Ceres (1), Pallas (2), Urania (30).

Planetoid	Tag der Entdeckung	Entdecker
25. Phocea . .	6. April 1853	Chacornac.
26. Proserpina .	5. Mai 1853	Luther.
27. Euterpe . .	8. November 1853	Hind.
28. Bellona . .	1. März 1854	Luther.
29. Amphitrite .	1. März 1854	Marth in London.
30. Urania . .	22. Juli 1854	Hind.
31. Euphrosine .	1. September 1854	Ferguson in Washington.
32. Pomona . .	26. October 1854	Goldschmidt.
33. Polyhymnia .	28. October 1854	Chacornac.
34. Circe . . .	6. April 1855	derselbe.
35. Leucothea. .	19. April 1855	Luther.
36. Atalante . .	5. October 1855	derselbe.
37. Fides . . .	5. October 1855	Schönfeld in Bonn.
38. Leda . . .	12. Januar 1856	Chacornac.
39. Lätitia . .	8. Februar 1856	derselbe.
40. Harmonia .	31. März 1856	Goldschmidt.
41. Daphne . .	22. Mai 1856	
42. Isis . . .	23. Mai 1856	

Die Lücke zwischen Mars und Jupiter ist somit reichlich ausgefüllt, und wahrscheinlich werden die Entdeckungen noch einige Zeit in dieser Region ergiebig sein. Andererseits hat die Reihe der Planeten aber auch jenseits des Uranus durch die Entdeckung des Neptun einen Zuwachs erhalten.

Die Frage, ob es jenseits des Uranus in unserem Sonnensysteme noch Planeten gebe, war bereits mehrfach aufgeworfen worden, namentlich neuerdings von Mädler. Auch behauptete schon 1812 in Gilbert's Annalen *) Gerdum, es gebe jenseits des Uranus noch 6 Planeten, denen er sogar Namen gab: Typhon, Vulcan, Pluto, Neptun, Aeolus und Bacchus. Der Komet von 1680 erreicht im Aphelium eine Entfernung von der Sonne, welche die des Uranus 40 Mal übertrifft. So weit reicht also sicher unser Sonnengebiet. Bei der Entfernung des nächsten Fixsternes — α des Centauren — von über 4 Billionen Meilen würde ein ungeheurer Raum jenseits des Uranus unbenutzt geblieben sein, wenn es nicht noch entferntere Planeten gäbe als diesen. Nun kommt zu diesen Wahrscheinlichkeitsgründen noch eine Anomalie im Laufe des Uranus, die sich nur durch die Annahme eines noch entfernteren, auf ihn störend einwirkenden Planeten erklären läßt. Die Beobachtungen des Uranus von 1781 bis 1820 geben nämlich andere Elemente, als die aus früherer und späterer Zeit, gerade so wie es bei dem Saturn sein würde, wenn man den störenden Einfluß des Uranus nicht berücksichtigen wollte, oder bei dem Jupiter, wenn man die Einwirkung des Saturn außer Acht ließe. Die Bahnen der Planeten sind nämlich nur in ihrem Grundzuge Ellipsen und würden diese in aller Vollkommenheit bilden, wenn nur die Sonne gravitirend auf sie einwirkte. Dasselbe Gravitationsgesetz gilt aber zwischen

*) Vergl. auch Isis 1818. S. 24.

je zwei Himmelskörpern, und folglich wird die elliptische Bahn des einen Planeten durch den Einfluß der anderen verändert. Ein Planet jenseit des Uranus war somit höchst wahrscheinlich. Nach der oben gegebenen Reihe ist seine mittlere Entfernung $8 + 3 . 2^8$ und nach dem dritten Kepler'schen Gesetze läßt sich auch seine mittlere Umlaufszeit zwischen 216 und 218 Jahren berechnen.

Leverrier zu Paris machte sich an die Aufgabe, aus den Abweichungen zwischen Theorie und Beobachtung den Ort und die Masse des unbekannten Planeten, welcher die Störungen des Uranus veranlassen müßte, zu bestimmen *). Da so wenig Anhaltepunkte gegeben sind, so war die Lösung mit vielen Schwierigkeiten verknüpft; durch die Annahme, daß der Planet in der Ekliptik laufe, vereinfachte sich zwar Leverrier die Untersuchung, doch blieben immer noch die Länge für eine gegebene Epoche, das Perihel, die Excentricität und halbe große Axe, und außerdem die Masse zu bestimmen. Im Januar 1846 theilte Leverrier der Akademie der Wissenschaften zu Paris mit, daß er durch Vorausberechnung den Ort des unbekannten Planeten bestimmt habe, und in den Comptes rendus vom 31. August machte er folgende Elemente bekannt:

Halbe große Axe 36, 154.
Umlaufszeit 217, 387 Jahre.
Mittlere Länge 1847. Jan. 1. 318° 47′.
Länge des Perihels 284° 45′.
Excentricität 0,10761.
Masse $\frac{1}{9300}$.

Am 23. September 1846 erhielt Galle in Berlin von Leverrier die Aufforderung, doch nach dem berechneten Planeten sich umzusehen, und noch an demselben Abende entdeckte derselbe nahe an der von Leverrier bezeichneten Stelle einen nicht in der Karte verzeichneten Stern, dessen Eigenbewegung sich schon am folgenden Tage herausstellte. Es ist diese Planetenentdeckung ein Triumph für die Wissenschaft, denn kein Zufall waltete hier, sondern aus den von Kepler gefundenen Gesetzen und nach den Principien der Gravitation wurde seine Stelle bestimmt, und somit ist zugleich der Beweis geliefert, daß sowohl jene, wie diese in Wahrheit die Gesetze und Principien sind, welche bei den Bewegungen der Himmelskörper die Grundlage bilden. Ist die Bahn des Neptun erst näher bestimmt, wozu allerdings bei seiner großen Umlaufszeit noch mehr Zeit, als bei dem Uranus, erforderlich sein wird; so wird sich herausstellen, ob seine Bahn etwa auch Anomalien zeigt, welche einen noch weiter abstehenden Planeten zu ihrer Erklärung bedingen. Die Möglichkeit noch weiter abstehender Planeten läßt sich wenigstens nicht bestreiten.

Außer den Planetoiden zählen wir mithin jetzt 8 größere Planeten: 1) Merkur, 2) Venus, 3) Erde, 4) Mars, 5) Jupiter, 6) Saturn, 7) Uranus, 8) Neptun.

Die verschiedenen Verhältnisse der Umlaufszeiten, Distanzen, Größen, Geschwindigkeiten ꝛc. enthalten für die 8 großen Planeten folgende Tabellen:

*) Gleichzeitig mit Leverrier hatte Adams in Cambridge sich dieselbe Aufgabe gestellt, ohne daß Einer von dem Anderen dies wußte. Die Resultate stimmten fast genau überein, aber Leverrier kam mit der Veröffentlichung früher und trug somit den Sieg davon.

Umlaufszeiten.

		Siderische	Tropische	Synodische
Merkur	☿	87,96926	87,9684	111,87 Tage
Venus	♀	224,70080	224,6955	583,92
Erde	♁	365,25637	365,242255	—
Mars	♂	686,97964	686,9297	779,88
Jupiter	♃	4332,58482	4330,6105	398,8
Saturn	♄	10759,2198	10746,7324	378,0
Uranus	♅	30686,8205	30589,3575	369,7
Neptun	♆	60624,79	60238,46	367,5

Entfernungen von der Sonne.

	Mittlere	Größte	Kleinste	In Millionen deutschen Meilen	
				größte	kleinste
Merkur	0,3870985	0,4666927	0,3075041	9,75	7,41
Venus	0,7233317	0,7282636	0,7184002	15,20	15,00
Erde	1	1,0167751	0,9832249	21,23	20,53
Mars	1,523691	1,6657795	1,3816025	34,77	28,85
Jupiter	5,202798	5,453663	4,951871	113,83	103,36
Saturn	9,538852	10,073278	9,004422	210,32	187,95
Uranus	19,182730	20,0763	18,28848	419,21	381,83
Neptun	30,04	30,4558	29,9494	826,00	663,00

Durchmesser.

	Scheinbarer	Wahrer in Meilen	Durchmesser der Erde = 1	Durchmesser d. Sonne = 1
Merkur	6″,69	671	0,38	0,003
Venus	17,10	1715	0,99	0,009
Erde	—	1719	1,00	0,009
Mars	5,8	884	0,51	0,005
Jupiter	38,4	20018	11,64	0,100
Saturn	17,1	16305	9,48	0,084
Uranus	4,1	7866	4,57	0,040
Neptun	2,4	7300	4,24	0,038
Sonne	1920,8	192936	112,23	1,000

	Volumen, der Erde = 1	Masse, der Erde = 1	Dichte, der Erde = 1	Schwerkraft	Fall der Körper auf der Oberfläche in 1 Sec.
Merkur	0,05	0,07	1,225	0,48	7,2 Fuß
Venus	0,85	0,88	0,908	0,90	13,8
Erde	1,00	1,00	1,000	1,00	15,4
Mars	0,13	0,13	0,972	0,49	7,5
Jupiter	1491	339,2	0,227	2,45	37
Saturn	772	101,6	0,131	1,09	16,5
Uranus	86,5	14,5	0,167	0,76	11,5
Neptun	76,6	24,6	0,321	1,36	20,5
Sonne	1415225	355499	0,250	28,36	428,4

	Mittlere tägliche Bewegung	Geschwindigkeit in der Bahn. Meilen in 1 Sec.	Dauer der Rotation
Merkur	245′ 32″,5	6,7	24^h 5′ 30″
Venus	96 7,7	4,9	23 21 21
Erde	59 8,2	4,7	23 56 4
Mars	31 26,6	3,4	24 37 22
Jupiter	4 59,2	1,7	9 55 26
Saturn	2 0,5	1,3	10 29 17
Uranus	42,4	1,0	— — —
Neptun	21,5	0,8	— — —
Sonne	—	—	610^h

	Excentricität	Neigung der Bahn	Jährliche Veränderung
Merkur	0,2056178	7° 0′ 13″,3	+ 0″,18
Venus	0,0068183	3 23 31,4	+ 0,07
Erde	0,0167751	—	—
Mars	0,0932528	1 51 5,7	— 0,01
Jupiter	0,0482235	1 18 42,4	— 0,23
Saturn	0,0560265	2 29 29,9	— 0,15
Uranus	0,0466006	0 46 29,2	+ 0,03
Neptun	0,0083838	1 47 1,5	—

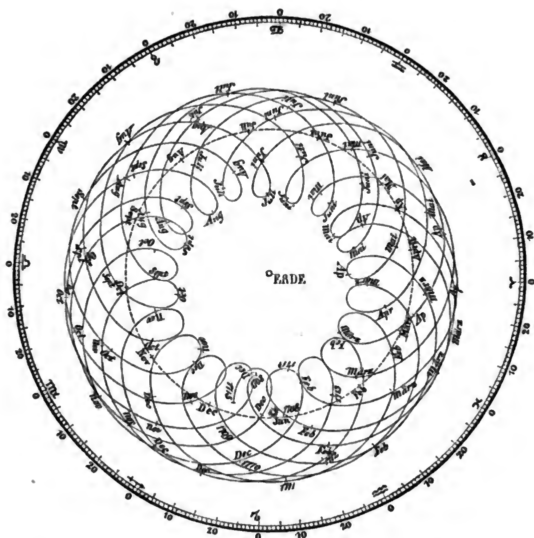
Die **Planetoiden** haben alle eine mittlere Entfernung von 2,2 bis 3,2; die der Flora ist 2,20072; die der Euphrosyne 3,192287; ihre mittlere Umlaufs-

zeit beträgt $3^1/_3$ bis $5^3/_4$ Jahre; ihre mittlere tägliche Bewegung 10 bis 19 Minuten; die Excentricität ist sehr verschieden und schwankt zwischen 0,07 und 0,26; noch bedeutender ist die Verschiedenheit in der Neigung der Bahn, indem z. B. die der Asträa 5° 19′ 18″, aber die der Pallas 34° 35′ 19″,1 ausmacht, so daß der Thierkreis, welchen man nur bis 10 Grad beiderseits der Ekliptik rechnet, seine alte Bedeutung, nach welcher sich innerhalb derselben die Planeten bewegen sollten, verloren hat. Der Größe nach sind die Planetoiden ebenfalls sehr verschieden; Pallas hat 145 Meilen im Durchmesser, Vesta nur 66, die später entdeckten sind noch kleiner, und darf man wohl annehmen, daß die bisher entdeckten die größten unter ihnen sind.

Auf eine speciellere Beschreibung der Planeten einzugehen, kann hier nicht der Ort sein, so daß wir auf größere astronomische Werke verweisen müssen. Wir müssen uns hier mit einigen wenigen Notizen begnügen, und hierbei können wir wiederum nur die größeren Planeten berücksichtigen.

1) Merkur. Er ist der Planet, welcher der Sonne am nächsten steht und deshalb nur selten und schwer zu sehen ist. Ob es etwa einen noch näheren Planeten gebe, ist eine Frage, die sich am ersten noch durch Vorübergänge des Fremdlings vor der Sonne würde entscheiden lassen, denn da er sich nicht weit von der Sonne seitwärts entfernen könnte, würde man ihn nur kurz vor Sonnenaufgang oder kurz nach Sonnenuntergang erblicken können, daran hindert jedoch die Dämmerung. Eine Entdeckung eines Planeten innerhalb der Merkurbahn ist kaum wahrscheinlich. Auf dem Merkur haben Harding und Schröter auf der Oberfläche fortrückende Flecke wahrgenommen, und aus dieser Erscheinung die Rotationszeit abgeleitet, zuverlässiger ist die Bestimmung aus der periodischen Abstumpfung des südlichen Hornes. Ueber die Neigung seiner Axe gegen die Ebene seiner Bahn wissen wir nichts Bestimmtes, eben so ist noch nicht eine Abplattung nachzuweisen gewesen. Die Gebirge des Merkur hat man auf $2^1/_2$ Meile Höhe berechnet. Daß er eine Atmosphäre besitzt, hat man aus dem plötzlichen Entstehen von Streifen auf seiner Scheibe gefolgert; auch schlossen Beer und Mädler auf eine solche, weil sie am 29. September 1832 die sichtbare Phase etwas kleiner fanden, als sie berechnet hatten. In der unteren Conjunction kann es kommen, daß der Merkur vor der Sonnenscheibe vorübergeht, sobald er nämlich dann nahe an einem seiner Knoten steht. Es entsteht alsdann eine, allerdings dem bloßen Auge nicht bemerkbare, Sonnenfinsterniß (s. Art. Mond, Bd. IV. S. 1114), denn der Merkur erscheint selbst im Fernrohre nur als ein kleiner, runder, dunkler Fleck vor der Sonnenscheibe. Gassendi hat am 7. November 1631 zuerst einen solchen Durchgang beobachtet, deren in einem Jahrhunderte durchschnittlich 13 eintreten *). Die nächsten Merkur-Durchgänge ereignen sich: 1861 November 11.; 1868 November 4.; 1878 Mai 6.; 1881 November 7.; 1891 Mai 9.; 1894 November 10.; 1901 November 4. Die Bahn des Merkur in Bezug auf die Erde von 1708 bis 1715 nach Cassini giebt folgende Abbildung.

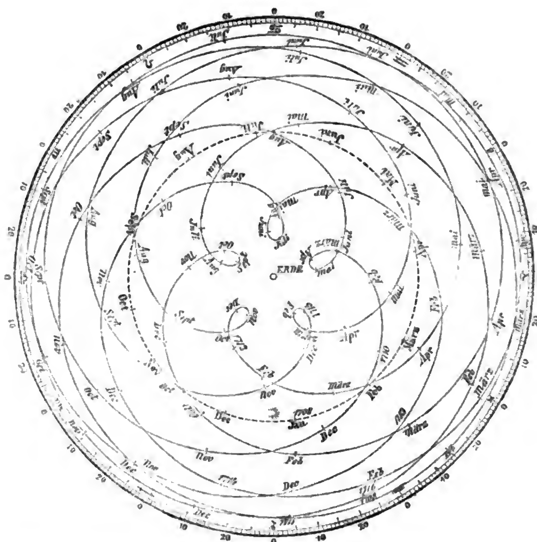
*) Gassendi soll vor Freude über seine Beobachtung ausgerufen haben: „Ich sah, was die Alchemisten mit großem Eifer suchen, ich sah Merkur in der Sonne.“ Vergl. Arago's Astronomie, deutsch von Hankel. Bd. II. S. 439.



2. **Venus.** Dieser als Morgenstern (Lucifer) und Abendstern (Hesperus) bekannte Planet zeichnet sich vor allen Sternen durch seinen Glanz aus, so daß er bisweilen sogar am hellen Tage gesehen werden kann. Er zeigt, wie Galilei zuerst 1610 beobachtete, deutliche Phasen und erscheint zur Zeit seiner größten Elongation zur Hälfte erleuchtet, wie der Mond beim ersten Viertel. Rückt die Venus weiter vorwärts, so wird der erleuchtete, von der Erde aus sichtbare Theil kleiner, aber durch die Annäherung zur Erde die scheinbare Größe in stärkerem Maße vergrößert, so daß der Glanz nach der Zeit der größten Elongation zunimmt und am stärksten ist, wenn wir nur $^1/_4$ der erleuchteten Hälfte erblicken. Wie der Merkur geht die Venus ebenfalls bisweilen vor der Sonnenscheibe vorüber, jedoch nur in einem Jahrtausende durchschnittlich 16 Mal. Am 4. December 1639 wurde dies Ereigniß zum ersten Male beobachtet. Die nächsten Venus-Durchgänge ereignen sich: 1874 December 8.; 1882 December 6.; 2004 Juni 7.; 2012 Juni 5. Die Bahn der Venus in Bezug auf die Erde von 1708 bis 1716 nach Cassini zeigt umstehende Abbildung.

Die Venus hat in Betreff der Größe, der Rotation, der Schiefe ihrer Axe zur Ebene ihrer Bahn große Uebereinstimmung mit der Erde; hierzu kommt noch, daß sie ebenfalls von einer Atmosphäre umgeben ist, welche Erscheinungen hervorbringt, die mit unserer Morgen- und Abenddämmerung die größte Aehnlichkeit haben. Die Atmosphäre scheint dieselbe Höhe zu haben, wie die der Erde, und

zeichnet sich nach Schröter's Beobachtungen durch große Heiterkeit und Klarheit aus. Die ausgezackte Lichtgrenze bei den verschiedenen Venusphasen ist ein entschiedener Beweis für das Vorhandensein von Bergen, die nach Schröter



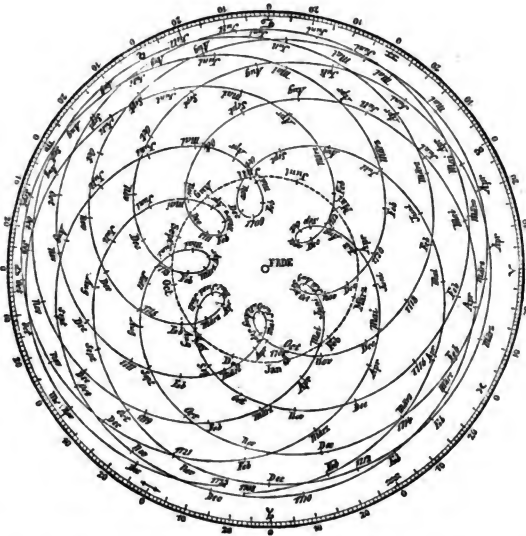
bis zu 6 Meilen Höhe emporsteigen. Einen Mond hat man bei der Venus noch nicht nachweisen können, wiewohl derartige Behauptung mehrmals aufgestellt worden sind, namentlich wollte Scheutter einen solchen gesehen haben.

3) Erde. S. Art. Erde, Bd. II. S. 868.

4) Mars. Dieser Planet ist an seinem rothen Lichte kenntlich, besonders auffallend, wenn er um Mitternacht kulminirt, weil er uns dann am nächsten ist und die größte scheinbare Größe zeigt. Die Excentricität seiner Bahn beträgt gegen 3 Millionen Meilen. Die Bahn in Bezug auf die Erde von 1708 bis 1723 nach Cassini zeigt umstehende Figur 1.

Auf der Oberfläche des Mars erblickt man veränderliche und unveränderliche Flecken, welche zur Bestimmung der Rotation desselben gedient haben. Die Wolken bewegen sich oft sehr schnell in seiner röthlichen Atmosphäre. An seinen beiden Polen erblickt man bei starker Vergrößerung sehr helle, weiße Zonen, welche man mit den Eis- und Schneefeldern an unseren Erdpolen verglichen hat: ja man hat sogar Veränderungen in der Größe dieser Stellen wahrgenommen,

I.



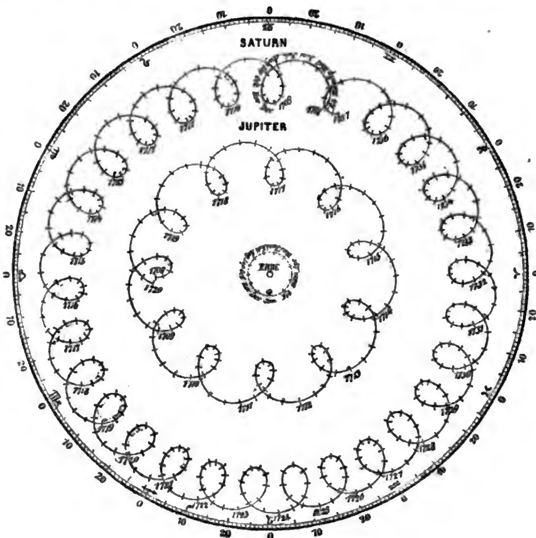
welche zu der Annahme führten, daß durch Schmelzen des Schnees die Gegend des einen Poles dunkler werde, während die des anderen durch größere Eis- und Schneeanhäufungen in hellerem Lichte strahlte (siehe beistehende Figur II.). Das röthliche Licht zeigt sich namentlich in der heißen Zone, während die Atmosphäre in der gemäßigten grau und in der kalten weiß erscheint. Die Axe ist unter 28 Grad gegen die Ebene der Bahn des Planeten geneigt, und hiernach bestimmen sich also die Zonen. Einen Mond hat der Mars nicht. Beer und Mädler haben 1841 eine Monographie des Mars herausgegeben.

II.



5) Jupiter. Die Bahnen des Jupiter von 1708 bis 1720 und des Saturn von 1708 bis 1737 in Bezug auf die Erde nach Cassini veranschaulicht umstehende Abbildung.

Der Jupiter zeichnet sich eben so wie der Mars und die Venus durch seinen Glanz aus, der bisweilen so stark ist, daß sich um ihn ein Hof bildet, namentlich wenn er in seiner Opposition steht und uns am größten erscheint. Das Licht ist gelblich. Bei starker Vergrößerung bemerkt man auf der Oberfläche des Jupiter dunkle und helle Flecke, nach den Polen zu graue Zonen und außerdem zu Zeiten



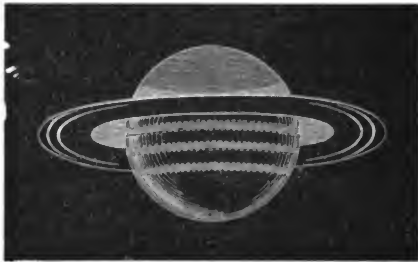
noch Streifen. Ein Streifen ist immer zu sehen, die anderen — gewöhnlich zwei — sind schmaler. Herschel hielt diese dunklen Streifen für Theile der Oberfläche, die veränderlichen Flecken für Wolken, welche von Winden fortgeführt werden. Schröter hat dagegen die Ansicht ausgesprochen, daß auch die Streifen atmosphärische Erscheinungen des Jupiter seien, weil er an ihnen starke Veränderungen und ungewöhnliche Beugungen wahrnahm; er verglich die Streifen mit den Wolkenzügen, welche auf der Erde innerhalb der Tropen durch die regelmäßigen Passatwinde von Osten nach Westen und umgekehrt getrieben werden. Er sah neue Streifen entstehen, andere verschwinden, und bemerkte in ihnen eine unregelmäßige, bald schnellere, bald langsamere Bewegung; auch nahm er in ihnen dunklere Flecke wahr, welche mit einer eigenen, ungleichen Bewegung wie Wolken fortgeführt wurden. Diese Ansicht von Passatwinden auf dem Jupiter wird auch von Cassini's Beobachtung von 1664 bis 1669 unterstützt, indem er oft innerhalb weniger Stunden ganz neue Streifen sich bilden sah. Auch die hellen Streifen zwischen den dunkelgrauen sind nach Schröter oft mit kleinen Flecken und Streifen

bedeckt; eben so entdeckte er Streifen, namentlich auf der südlichen Halbkugel, welche nicht immer von Osten nach Westen, sondern auch von Süden nach Norden oder umgekehrt sich bewegten. — Die Rotationszeit des Jupiter ist sehr kurz, 9^h 55′ 17″; eine Folge davon ist bei seiner bedeutenden Größe, indem sein Durchmesser $11^1/_4$ Mal den der Erde übertrifft, eine sehr starke Abplattung an den Polen, welche 1400 Meilen für den Durchmesser beträgt. Da die Axe des Jupiter nur 1 bis 2 Grad gegen die Ebene seiner Bahn geneigt ist, so kann der Wechsel der Jahreszeiten auf diesem Planeten kaum merklich sein. — Die Umlaufszeit beträgt beinahe 12 Jahre, folglich rückt er jährlich im Durchschnitte um ein Sternbild im Thierkreise vorwärts. — Der Jupiter hat 4 Monde.

6) Saturn. Bis 1781 war dieser Planet der äußerste unseres Planetensystems. Er erscheint in einem matten röthlichen Lichte als Stern erster Größe. Bei starker Vergrößerung bemerkt man, wie bei dem Jupiter, graue Streifen am Aequator, die sich um die ganze Kugel erstrecken; Herschel will in demselben noch besondere Flecken wahrgenommen haben, und schloß aus der Bewegung derselben auf eine Rotation von 10^h 29′ 17″. Die Abplattung ist bedeutend, $^5/_{51}$; also verhältnißmäßig größer als beim Jupiter. Die Dichtigkeit des Saturn ist geringer als bei allen anderen Planeten, nämlich $^1/_8$ von der der Erde, also gleich der des Tannenholzes; da nun das Innere dichter sein muß, als die Oberfläche, so bleibt für diese nur etwa die Dichtigkeit des Korkes übrig, jedenfalls eine geringere, als das Wasser auf der Erde hat.

Das Merkwürdigste bei diesem Planeten sind die ihn concentrisch umgebenden Ringe. Dieselben sind breit, aber dünn, und schweben frei in der Ebene des Aequators, so daß diesem die innere schmale Kante des innersten zugekehrt ist. Bisweilen sieht es aus, als ob an der Planetenkugel noch zwei rundliche Körper angesetzt wären — so erblickte Galilei den Saturn —; zu anderen Zeiten erscheinen die Ringe wie zwei Henkel — wie Hevel es zuerst zeichnete; erst Huyghens gab die richtige Deutung. Es ist kein einfacher Ring, sondern es sind, wie bereits erwähnt ist, mehrere concentrische, durch leere Zwischenräume von einander vollständig getrennte Ringe von ungleicher Breite. Diese Ringe haben eine kleine Neigung gegen einander und gegen den Aequator der Planetenkugel; ihre Oberfläche ist uneben und theilweise wie verbogen. Das Centrum der Ringe fällt nicht genau in das Centrum des Saturnkörpers selbst. Herschel entdeckte 1787 zuerst die Theilung des Ringes und glaubte, es seien zwei von ungleicher Breite; Kater und Encke fanden, daß der äußere schmalere Ring nochmals in zwei Ringe von ungleicher Breite getheilt sei, und die Astronomen des Collegio Romano haben sogar noch eine Theilung des äußeren Ringes wahrgenommen (s. umstehende Figur). Nach den älteren Messungen haben alle Ringe zusammen eine Breite von 6047 Meilen, von denen 3733 auf den inneren Ring, 387 auf den großen Zwischenraum und 1927 auf die äußeren Ringe sammt ihren Zwischenräumen kommen. Nach Bessel hält der Durchmesser des äußeren Ringes 37587 Meilen; der Durchmesser des inneren Ringes soll 25492 Meilen betragen und der Ring selbst 4594 Meilen von der Oberfläche des Saturn abstehen. Die Dicke der Ringe beträgt nach Schröter 113, nach Bessel sogar nur $29^3/_5$ Meilen. Laplace hat theoretisch nachzuweisen gesucht, daß zum Bestehen des Gleichgewichtes in den Ringen Ungleichheiten nothwendig und vollkommene Symmetrie und Gleichartigkeit damit unvereinbar sind, eben so daß ein Umschwung

der Ringe stattfinden müsse. Herschel entdeckte fünf helle glänzende Punkte auf dem Ringe, welche Gebirge sein werden, und aus ihrer Bewegung bestimmte er die Rotation des Ringes zu $10^h\ 32'$. Mehrere Beobachter sahen zu der Zeit,



wo der Ring als schmale Linie erscheinen mußte, denselben sich in Punkte auflösen, die an Zahl und Lage zu beiden Seiten verschieden waren; andere sahen die Linie auf der einen Seite früher verschwinden, als auf der anderen, so daß die Ringe unmöglich in derselben Ebene liegen können. Nach Struve's Messungen beträgt die Excentricität des Ringes etwa eine Viertelsecunde, was in dieser Entfernung etwa 200 Meilen gleich kommt. Die Neigung der Ringebene gegen die Ekliptik ist 28° 10′ 34″, ihr aufsteigender Knoten in derselben 167° 16′ 23″; folglich beträgt ihre Neigung gegen die Saturnsbahn 26° 49′ 17″, und der aufsteigende Knoten ergiebt sich in derselben zu 171° 17′ 34″.

Fragt man nun nach der Natur dieser Ringe, so scheint nach der Analogie mit den Monden es wahrscheinlich, daß man es hier gewissermaßen mit einer Anhäufung von Monden zu thun hat, d. h. mit einer Mondbahn, welche von Monden so erfüllt ist, daß einer an den anderen stößt und so ein völliger Kranz von Monden entsteht. Vielleicht daß die einzelnen Monde nicht einmal zusammenstoßen, wir aber den Abstand, weil er zu gering ist, in der bedeutenden Entfernung des Saturn nicht wahrnehmen können. Die großen Unebenheiten der Ringe ließen sich hiernach wohl begreifen. Oken glaubte, der Saturnring sei ein noch unausgebildeter Saturnmond und die Saturnmonde seien in einzelne Sterne zusammengezogene Saturnringe. Maupertuis meinte, der Ring sei ursprünglich ein Komet gewesen. Andere halten dafür, der Planet habe früher eine viel größere Kugel gebildet, sei aber zusammengestürzt, nur der Aequator sei als Ring geblieben und der Rest bilde nun eine kleinere Kugel. Plateau *) hat durch Rotation nicht nur eine Kugel, sondern sogar einen Ring an einer freien und der Wirkung der Schwere entzogenen flüssigen Masse hervorgebracht, von welchen der letztere unwillkürlich an den Saturnring erinnert **).

*) Poggend. Ann. Ergänzungsb. II. oder Bd. LXXII b. S. 249 ff.

**) Wir geben hier Plateau's Verfahren näher an: Bekanntlich sind die fetten Oele weniger dicht als Wasser, und dichter als Alkohol. Man kann demnach ein Gemisch von Wasser und Alkohol machen, das genau eine gleiche Dichte hat, wie ein gegebenes Oel,

Außer den grauen Streifen in der Richtung des Aequators hat man auch eine Trübung der inneren Kante des innersten Ringes beobachtet und beide Erscheinungen in Verbindung zu bringen gesucht. Denken wir uns den Saturn mit einer Flüssigkeit bedeckt, welche freilich ein geringeres specifisches Gewicht, als unser Wasser haben müßte, so wird der Ring in derselben eben so eine Ebbe und Fluth hervorbringen, wie dies der Mond auf unseren Meeren bewirkt. Der graue Streifen unter dem Aequator soll die Fluthwelle vorstellen, und da die Einwirkung eine gegenseitige sein muß, die Ringe ebenfalls aus einem Stoffe bestehen müssen, der an der Oberfläche leichter als Wasser ist, so würde die Trübung an dem Ringe ein Zeichen von der Fluth sein, welche an dem Ringe hervorgerufen ist, so daß sich zwei Fluthringe gegenüber ständen.

Da die Umdrehungsaxe des Saturn im Weltenraume stets dieselbe Richtung beibehält, wie dies bei der Erde bekannt ist, so wird die Ebene des Saturnringes bei allen Stellungen des Saturnes in seiner Bahn stets parallel mit sich selbst bleiben. Hieraus erklärt sich der verschiedene Anblick, welchen der Ring bei den verschiedenen Stellungen zeigt. Im Jahre 1855 erschien der Ring in seiner ganzen Breite; 1863 zeigt er sich als Linie, desgleichen 1877; von 1863 bis 1877 sehen wir die südliche Fläche des Ringes, dann die nördliche und so abwechselnd weiter.

Der Saturn hat 8 Monde.

7) Uranus. Dieser Planet erscheint höchstens als Stern sechster Größe. Von Flecken auf demselben hat man noch nichts wahrgenommen, weshalb auch über seine Rotationszeit sich nichts Bestimmtes sagen läßt. Aus der Zeit vor Herschel hatte man bereits 17 Beobachtungen dieses Weltkörpers; aus diesen und aus Herschel's Beobachtungen waren die Elemente abgeleitet, aber Bou-

---

z. B. Olivenöl. Wenn man in ein so gebildetes Gemisch eine gewisse Quantität Oel bringt, so ist klar, daß die Wirkung der Schwere auf dies Oel vollständig vernichtet sein wird. Da sich nun die fetten Oele nicht mit der aus Wasser und Alkohol gebildeten Flüssigkeit mischen, so wird die Oelmasse mitten in der umgebenden Flüssigkeit schweben bleiben und vollkommene Freiheit haben, die äußere Gestalt anzunehmen, welche ihr die auf sie etwa einwirkenden Kräfte vorschreiben. Die Oelmasse wird also einer unschweren, frei im Raume schwebenden und blos ihren Molecular-Attractionen unterworfenen Flüssigkeitsmasse vergleichbar sein, und muß deshalb eine Kugelgestalt annehmen. Die Erfahrung bestätigt dies vollkommen.

Hat man nun eine schöne Oelkugel im permanenten Gleichgewichte mit der umgebenden Flüssigkeit, bringt in dieselbe eine kleine Metallscheibe, die winkelrecht auf einer Axe steckt, und setzt diese in Rotation; so plattet sich die Kugel an den Polen ab und schwillt an ihrem Aequator an. Man erhält also die Erscheinung, welche die Planeten zeigen. Hierbei hat die Scheibe eine geringe Geschwindigkeit, macht etwa einen Umgang in 5 bis 6 Secunden; vermehrt man aber die Geschwindigkeit auf 2 bis 3 Umläufe in der Secunde, so nimmt die flüssige Kugel anfangs rasch das Maximum ihrer Abplattung an, dann wird sie, rings um die Axe, von unten und oben hohl, und dehnt sich dabei immer mehr in horizontaler Richtung aus, endlich verläßt sie die Scheibe und verwandelt sich in einen vollkommen regelmäßigen Ring.

Dieser Ring ist seiner Dicke nach abgerundet und scheint einen Kreis zur erzeugenden Fläche zu haben. Im Momente seiner Bildung vergrößert er rasch seinen Durchmesser bis zu einer gewissen Grenze; sobald er diese erreicht hat, muß man mit dem Drehen der Scheibe einhalten. Der Ring erhält sich dann einige Secunden in demselben Zustande; dann schwächt der Widerstand der umgebenden Flüssigkeit seine Rotationsbewegung, er kehrt zu sich selbst zurück und verwandelt sich abermals in eine Kugel rings um die Scheibe und ihre Axe.

vard fand zwischen diesen und den Beobachtungen von 1781 bis 1820 keine Uebereinstimmung, so daß er neue Tafeln berechnete. Airy's Beobachtungen in den Jahren 1833 und 1834 zeigten davon schon wieder eine merkliche Abweichung, und hierdurch wurde man immer mehr dahin gedrängt, noch jenseits des Uranus einen ferneren Planeten zu suchen, den man endlich 1846 fand.

Der Uranus hat 6 Monde.

8) Neptun. Seine Entdeckung ist bereits oben angegeben und auch so eben bei dem Uranus ist ihrer wieder Erwähnung geschehen. Wir wissen von ihm noch sehr wenig. Nach Mädler's Messungen zu Dorpat war der scheinbare Durchmesser

1846 October 26. = 2,538 Secunden,
" November 12. = 2,58 "

also im Mittel 2,559 Secunden; Mitchell in Cincinnati fand zu derselben Zeit 1846 October 28. den Durchmesser = 2,523 Sec. Lassel in England und Bond in Nordamerika haben einen Mond des Neptun gefunden; einen zweiten Mond vermuthet man. Einen Ring, wie bei dem Saturn, glaubt Lassel gesehen zu haben, doch hat sich dies nicht durch andere Beobachtungen bestätigt. Der Neptun erscheint wie ein Stern achter Größe.

Mehrere der Planeten sind von Weltenkörpern begleitet, die ihnen auf ihrer Bahn um die Sonne folgen, so daß der Planet für diese Begleiter eben so ein Centrum abgiebt, wie die Sonne ein solches für die Planeten selbst ist. Diese an sich dunklen Körper heißen Nebenplaneten, Monde, Trabanten, Satelliten der Hauptplaneten.

Bei dem Merkur und der Venus, eben so bei dem Mars und den Planetoiden hat man von Monden noch nichts entdecken können. Unsere Erde hat einen Trabanten, den wir schlechthin den Mond nennen. Wegen der besonderen Wichtigkeit desselben für uns Erdenbewohner ist demselben ein eigener Artikel gewidmet, auf welchen wir hiermit verweisen (s. Bd. IV. S. 1104).

Der Jupiter hat 4 Monde, welche Galilei und Simon Marius unabhängig von einander, aber gleichzeitig 1610 entdeckten. Die näheren Verhältnisse ergeben sich aus folgenden Tabellen:

	Entfernung von dem Mittelpunkte des Jupiter		Durchmesser		Größte Dauer der Verfinsterung
	Meilen	Halbmesser des Jupiter	scheinbar vom Jupiter aus	Meilen	
I.	58294	6,05	31′ 11″	529	2^h 15′ 44″
II.	92827	9,62	17′ 35″	475	2. 52. 4.
III.	148078	15,35	19′ 24″	776	3. 33. 40.
IV.	260450	27,00	8′ 46″	664	4. 44. 50.

	Umlaufszeit um den Jupiter		Neigung der Bahn gegen	
	siderische	synodische	den Jupitersäquator	die Jupitersbahn
I.	1d 18h 27′ 33″,5	1d 18h 28′ 35″,9	7″	3° 5′ 24″
			veränderlich, im Mittel:	
II.	3. 13. 13. 42.	3. 13. 17. 53,7	1′ 6″	3° 4′ 25″
			im Mittel:	
III.	7. 3. 42. 33.	7. 3. 59. 35,8	5′ 3″	3° 0′ 28″
			im Mittel:	
IV.	16. 16. 32. 11.	16. 18. 5. 7.	24″,33	2° 40′ 58″

Für ihre Masse in Bezug zur Masse des Jupiter hat man gefunden:

I. 0,000017328; II. 0,000023285; III. 0,000088497; IV. 0,000042659.

Hieraus ergiebt sich mit Rücksicht auf die Größe der Monde, daß I. beinahe die Dichtigkeit unseres Wassers hat, nämlich 0,2005 der Dichtigkeit unserer Erde; daß II. etwas dichter als Jupiter selbst und überhaupt der dichteste seiner Trabanten ist; daß III. in seiner Dichtigkeit dem Jupiter sehr nahe kommt, und daß IV. nicht so dicht als Jupiter ist. Das Licht von Nr. IV. ist bläulich grau; Nr. III. ist am hellsten und deutlich gelb; das hellgelbe Licht von Nr. I. stimmt mit dem des Jupiter vollständig überein.

Nr. I. läuft noch einmal so schnell als Nr. II.; Nr. II. noch einmal so schnell als Nr. III. und Nr. III. fast noch einmal so schnell als Nr. IV. Es ergiebt sich dies aus folgender Zusammenstellung:

Es macht

I.	247	Umläufe	in	437	Tagen	3	Stunden	43	Minuten	58	Secunden.
II.	123	"	"	437	"	3	"	41	"	9	"
III.	61	"	"	437	"	3	"	35	"	25	"
IV.	26	"	"	435	"	14	"	13	"	3	"

Nach 437 Tagen 4 Stunden treten also die Finsternisse der Monde ziemlich genau wieder in derselben Ordnung ein, und ein Gleiches gilt überhaupt von der Stellung der Monde zum Jupiter.

Beobachtet man den Jupiter und seine Monde durch ein starkes Fernrohr, so bemerkt man bald, daß bald der eine, bald der andere Mond plötzlich verschwindet und nach einigen Stunden weiter östlich wieder erscheint. Dies sind Mondfinsternisse, hervorgebracht durch das Eintreten des Mondes in den Schatten des Jupiter, woraus zugleich folgt, daß sowohl der Jupiter, als seine Monde an sich dunkle Körper sind, die ihr Licht erst von der Sonne empfangen. Durch scharfe Fernröhre kann man diese Monde auch an dem östlichen Rande in die Scheibe des Planeten eintreten und über diese nach dem westlichen Rande zu hingehen sehen. Dann folgen dem Monde ziemlich gleich große dunkle Flecke auf der Scheibe des Planeten, welche sich mit gleicher Geschwindigkeit auf dem vom

Monde zurückgelegten Wege hinbewegen. Diese Flecken sind die Schatten, welche die Monde auf den Planeten werfen, und für jeden Punkt des Planeten, auf welchen so der Schatten eines der Monde fällt, findet eine Sonnenfinsterniß statt *).

Aus der Vergleichung der mittleren Längen der drei dem Jupiter nächsten Monde ergiebt sich, daß für jede gegebene Epoche die Länge des ersten oder nächsten sammt der Länge des zweiten weniger der dreifachen Länge des dritten immer gleich 180° ist. Eben so ist die mittlere siderische Bewegung des ersten für irgend einen Zeitraum, sammt der doppelten des zweiten immer gleich der dreifachen Bewegung des dritten während derselben Zeit. Hieraus folgt, daß diese drei Monde nie gleichzeitig verfinstert sein können. Wie man aus der Beobachtung der Finsternisse dieser Monde die Geschwindigkeit des Lichtes erkannt hat, ist im Art. Licht, Bd. IV. S. 515 nachzusehen. Eben so verweisen wir wegen der Bestimmung der geographischen Breite oder der Meridian-Differenz der Beobachtungsorte auf der Oberfläche der Erde mittelst der Verfinsterung der Jupiterstrabanten auf Art. Meridian, Bd. IV. S. 1018.

Die Bahnen der Jupitersmonde, die sämmtlich, wie aus obigen Tabellen zu ersehen ist, gegen den Aequator des Jupiter nur eine geringe Neigung haben, weshalb man die Monde auch stets ziemlich in gerader Linie stehen sieht, sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte der Mittelpunkt des Jupiter liegt, wie dies auch bei unserem Monde in Bezug zur Erde der Fall ist. Wahrscheinlich bewegen sich auch die Monde des Jupiter, so wie der der Erde, zugleich einmal um sich selbst, während sie einmal ihre Bahn um den Jupiter zurücklegen. Dies hat man namentlich aus Beobachtungen des vierten Jupiter-Trabanten geschlossen. Derselbe zeigt nämlich eine periodische Aenderung seines Lichtes, indem er immer dann am stärksten glänzt, wenn er weiter als Jupiter von der Erde entfernt ist, und am schwächsten, wenn er für uns diesseits seines Planeten steht, so daß er uns dort seine hellere, hier aber seine dunklere Seite zuzuwenden scheint.

Delambre hat nach der von Lagrange bearbeiteten und von Laplace erweiterten Theorie der Trabanten des Jupiter Tafeln berechnet, die nach Laplace's Urtheile so genau, als die Beobachtungen selbst sind **).

Der Saturn hat 8 Monde, die mit Ausnahme des sechsten, der an Größe den Mars übertrifft, nur durch gute Fernrohre wahrnehmbar sind. Huyghens entdeckte VI. (Titan) im Jahre 1655; Cassini VIII. (Japetus), V. (Rhea), IV. (Dione) und III. (Thetis) in den Jahren von 1671 bis 1687; Herschel II. (Enceladus) 1788 und I. (Mimas) 1789; endlich Lassel VII. (Hyperion) 1852.

Die näheren Verhältnisse der Monde geben folgende Tabellen:

---

*) Vergl. Sonnenfinsterniß im Art. Mond, Bd. IV. S. 1114.

**) Tables elliptiques des Satellites de Jupiter, d'après la théorie de Mr. Laplace et la Totalité des observations, faites depuis 1662 jusqu' à l'an 1802, par Delambre.

	Periodische Umlaufszeit	Entfernung vom Saturn		Neigung der Bahn gegen die des Saturn
		Meilen	Halbmesser des Saturn	
I.	$22^h\ 36'\ 17''$	25600	3,14	$28^0\ 34'$
II.	32. 53. 9.	32866	4,03	$28^0\ 34'$
III.	45. 18. 33.	40700	4,99	$28^0\ 34'$
IV.	65. 44. 51.	52164	6,39	$28^0\ 34'$
V.	108. 25. 11.	71410	8,75	$28^0\ 34'$
VI.	382. 41. 25,1.	168800	20,70	$28^0\ 34'$
VII.	508. „ „	350000	42,92	
VIII.	1905. 54. „	524686	64,36	$22^0\ 42'$

Von dem sechsten Monde besitzen wir durch Bessel sehr genaue Elemente, nämlich außer der bereits angegebenen periodischen Umlaufszeit und Entfernung wissen wir noch seine synodische Umlaufszeit = 15 Tage $23^h\ 15'\ 32''$, Neigung der Bahn gegen die Ekliptik = $27^0\ 33'\ 46''$, Excentricität 0,02922326, Saturnnähe (Perisaturnium) $244^0\ 35'\ 50''$.

Die Neigung der Bahn des dritten Mondes gegen die Ringebene ist = $1^0\ 33'\ 6''$; die synodische Umlaufszeit des achten ist 79 Tage 22 Stunden 4 Minuten.

Die Durchmesser, Massen und Dichtigkeiten sind noch nicht zuverlässig bestimmt. Die Bahnen dieser Monde sind gegen die Bahn des Saturn stärker geneigt, als dies beim Jupiter der Fall ist, weshalb hier auch seltener Finsternisse entstehen, als es da geschieht. Zu der Zeit, wo der Ring verschwindet, folgen die Verfinsterungen schnell hinter einander, nämlich bei jedem Vollmonde eine Mondfinsterniß und bei jedem Neumonde eine Sonnenfinsterniß. Der sechste Mond veranlaßt dann etwa 22 solche Finsternisse in Zeit von 350 Tagen; der fünfte Mond 180 in 2 Jahren; der erste etwa 2000 in $10^1/_2$ Jahren, worauf dann 4 Jahre lang keine Verfinsterung desselben eintritt. Nicht selten kommen auch Verfinsterungen der Monde unter sich, oder durch die Ringe des Saturn vor.

Die 6 Monde des Uranus sind noch schwerer zu sehen, als die des Saturn. II. und IV. entdeckte Herschel am 11. Januar 1787 als ungemein feine Lichtpunkte; I., III., V. und VI. will derselbe in den Jahren 1790 bis 1794 gesehen haben, doch ist deren Existenz noch gar nicht fest entschieden. Ihr Abstand und ihre Umlaufszeit sollen folgende sein:

	Abstand vom Uranus	Umlaufszeit
I.	49000 Meilen	6 Tage — Stunden
II.	63543 „	8 „ 17 „
III.	74000 „	11 „ — „
IV.	84933 „	13 „ 11 „
V.	170000 „	38 „ — „
VI.	340000 „	108 „ — „

Die Bahn des vierten Mondes steht fast senkrecht auf der Uranusbahn.

Da nun bei dem Jupiter und Saturn die Bahnen der Monde zu dem Aequator nicht sehr geneigt sind, so ist es wahrscheinlich, daß dies auch hier der Fall sein werde, und demnach würde der Aequator des Uranus fast senkrecht zur Bahn desselben stehen.

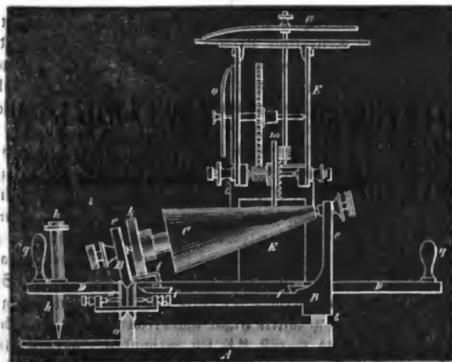
Von den Monden des Neptun können wir nichts mehr zu dem bereits oben Erwähnten hinzufügen. H. E.

Planimeter. Ein Planimeter ist ein Instrument, durch welches man den Flächeninhalt ebener gezeichneter Figuren auf mechanischem Wege findet. Der Mechanismus des Instruments soll die mühselige Arbeit der directen Berechnung entweder theilweise oder ganz ersetzen. Für den praktischen Geometer entsteht unzählige Mal die Aufgabe, aus den gezeichneten Plänen den Flächenraum vieler einzelner Parcellen zu bestimmen. Im directen Verfahren zerlegt man die zu berechnenden Flächen in einfache Figuren, deren Dimensionen mit dem Zirkel gemessen werden. Das Verfahren ist nun bei größeren Vermessungen zeitraubend und geisttödtend, und trotz der Einfachheit der einzelnen Operationen können sich leicht Fehler einschleichen, die dann eine Wiederholung des ganzen Verfahrens nöthig machen. Deshalb ist man schon früh bedacht gewesen, Instrumente zu construiren, die in kürzerer Zeit in mechanischer Weise den Inhalt gezeichneter Figuren mit gleicher oder noch größerer Genauigkeit angeben, als die unmittelbare Berechnung mit Zirkel und Maßstab. Es lassen sich alle hierher gehörenden Apparate in zwei Classen theilen, a) solche, durch welche die Rechnung nicht ganz beseitigt wird, welche nur die Abmessung der Grundlinie und Höhe oder der Coordinaten erleichtern, indem sie den Zirkel entbehrlich machen, die Fläche ergiebt sich dann erst durch wirkliche Multiplication der Factoren oder mittelst Multiplicationstafeln. Solche Apparate sind beim österreichischen Kataster wirklich im Gebrauch gewesen. b) Die zweite Classe bilden die Apparate, welche den Flächenraum geradezu angeben. Hier sind wieder zwei Arten zu unterscheiden. Die älteren Apparate geben den Inhalt eines Dreiecks oder Trapezes an, indem diese Figur in ein anderes Dreieck von constanter Grundlinie verwandelt wird, so daß nun die Höhe der Fläche proportional ist. Hierher gehören das Wagner'sche Planimeter und das spätere von Horsky und Kraft. Außer anderen Uebelständen, die mit diesen Apparaten verbunden sind, verlangen sie, daß die zu messende Fläche zuerst in Dreiecke zerlegt werde. — Die neueren Apparate geben den Flächeninhalt der Figuren direct, nachdem mit einer Spitze, die wie bei einem Pantographen nach allen Richtungen beweglich ist, der Umfang der Figur umschrieben ist. Auf diese Art der Planimeter wollen wir hier näher eingehen.

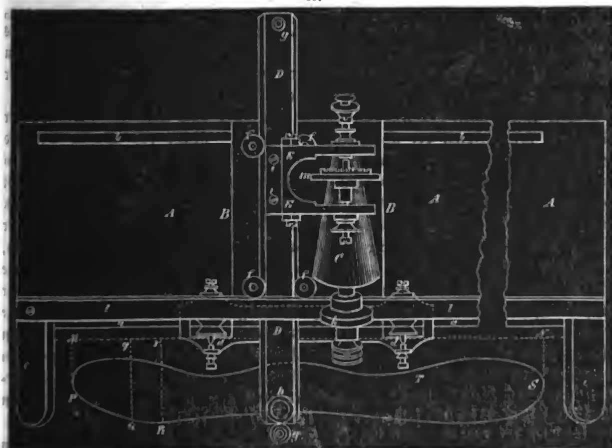
Das Hauptverdienst um die Erfindung der umschreibenden Planimeter gebührt dem Ingenieur Oppikofer aus Untereppikon im Kanton Thurgau, indem die eigenthümliche Anwendung eines theils rollenden, theils gleitenden Laufrädchens von ihm ausging. Der Mechaniker Ernst in Paris brachte an dem von Oppikofer erfundenen Planimeter einige Verbesserungen an, so daß derselbe in Frankreich, obwohl mit Unrecht, der Ernst'sche Planimeter genannt wird. Von diesem verbesserten Planimeter giebt umstehende Fig. I. einen Aufriß und Fig. II. einen Grundriß. AA ist eine ebene, rechteckige Platte, die als Grundlage dient, und mit welcher das Instrument horizontal auf einen Tisch gesetzt wird, a und b

sind zwei aus der Ebene der Platte hervortretende und unter sich und mit der Längsrichtung derselben parallele Bahnen, a ist oben zugeschärft und b ist oben

I.



II.



eben; c c sind zwei von der Platte A nach vorn vortretende Arme, zwischen welchen die zu messende Zeichnung ausgebreitet wird. B B ist ein auf den Bahnen a und b ruhender und auf ihnen seitwärts verschiebbarer Wagen. Damit diese

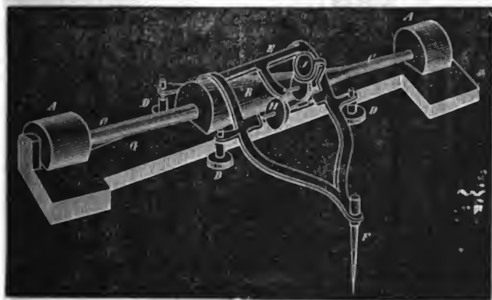
Bewegung um so leichter erfolgt und damit während derselben der Wagen B stets mit sich parallel bleibt, trägt er vorn in entsprechenden Hülsen die Frictionsrollen d d, mit denen er auf der scharfen Kante der Bahn a ruht; auf der Bahn b ruht er flach auf. Der Wagen B trägt den Kegel C, der sich zwischen Spitzen bewegt, die ihre Lager in zwei aufrechten Armen e e haben. Der Kegel hat eine solche Lage, daß seine oberste Seitenlinie parallel zur Ebene A ist. Auf der Axe des Kegels sitzt noch die Rolle k, welche gegen die mit A festverbundene Schiene l l drückt, so daß bei der Bewegung des Wagens die Friction zwischen k und l den Kegel zur Rotation bringt. Die Axe des Kegels liegt in einer Verticalebene, die senkrecht zu den Bahnen a und b steht. Auf dem Wagen B liegt der Schieber D, so daß er die Bewegung des Wagens theilen muß, er besitzt aber noch eine selbstständige Beweglichkeit nach seiner eigenen Längsrichtung. Er liegt zwischen den vier Führungsrollen f f, die ihre Zapfen auf B haben und so gestellt sind, daß die selbstständige Bewegung des Schiebers nur senkrecht zur Seitenbewegung des Wagens B erfolgen kann. Der Schieber trägt noch die beiden Handhaben g g und den Fahrstift h, dessen nach unten gekehrte Spitze in einer Hülse verschiebbar ist. Weil nun der Fahrstift h sowohl die Bewegung des Wagens als die des Schiebers annimmt, so läßt sich mit ihm innerhalb der durch das Instrument bedingten Dimensionen jede noch so beliebig gestaltete Figur umschreiben. Mit dem Schieber D ist durch die Schrauben i i das Gerüst E E fest verbunden, welches also mit dem Schieber nach vorn und hinten verschiebbar ist. Das Gerüst trägt den Zählapparat, dessen Haupttheil die Scheibe m ist, die mit einem gewissen Druck auf dem Kegel C ruht, so daß die zwischen C und m bestehende Friction die Bewegung des Kegels auf die Scheibe m überträgt. Durch das übrige Räderwerk des Zählapparats werden die beiden Zeiger n und o in Bewegung gesetzt, aus deren Stellung die Größe der Umdrehung der Scheibe m und damit auch die Größe der vom Fahrstift h umschriebenen Fläche abgelesen werden kann.

Die Wirksamkeit des Apparats beruht darauf, daß stets die Rotation der Scheibe m proportional der umfahrenen Fläche ist. Ruht der Wagen B, wird aber der Schieber D nach vorn oder nach hinten geschoben, so wird die Scheibe m auf der obersten Linie auch nach vorn oder nach hinten gleiten, dabei aber nicht rotiren; bewegt sich aber der Wagen zur Seite, so rotirt wegen der zwischen k und l bestehenden Pression der Kegel und folglich auch die Scheibe m; bei gleicher Bewegung des Wagens wird aber die Rotation der Scheibe m um so größer sein, je mehr der Berührungspunkt zwischen m und C nach vorn liegt; daher ist die Rotation von m proportional dem Produkt der Bewegung des Wagens B mit der Entfernung der Scheibe m von der Spitze des Kegels. Es sei nun M N diejenige gerade Linie parallel zur Bahn a, auf welche die Spitze des Fahrstifts zeigen würde, wenn der Schieber D so weit nach hinten geschoben ist, daß die Scheibe m gerade auf der Spitze des Kegels stände. Führt man nun die Spitze des Fahrstifts durch die kleine Linie Q R, die wir zuerst als mit M N parallel annehmen wollen, so wird während dieser Bewegung die Scheibe m eine Rotation annehmen, die proportional mit Q q und Q R, also proportional mit dem Rechteck Q q r R sein wird. Ist Q R nicht mit M N parallel, ist also Q q r R kein Rechteck, so wird doch die Rotation von m proportional der Fläche Q q r R bleiben, denn ich kann mir diese Fläche aus lauter schmalen Rechtecken bestehend denken, und von jedem einzelnen dieser schmalen Rechtecke wird unsere Behauptung gelten. Führe ich nun

den Fahrstift von P durch Q, R nach S, so wird während dieser Bewegung die Scheibe m eine Rotation machen, welche der Fläche MPQSN proportional ist. Führe ich nun die Spitze des Fahrstifts von S durch T nach P zurück, so ist jetzt die Rotation von m proportional der Fläche PMNSTP, da aber hierbei der Wagen B zurückgeführt wird, so ist auch die Rotation von C und von m die entgegengesetzte; die übrigbleibende Gesammtrotation von m, die an den Zeigern n und o abgelesen wird, ist also proportional der Fläche PQRSTP. Man kann nun leicht die Dimensionen des Apparates so wählen, daß man auf den Eintheilungen der zu n und o gehörigen Scheiben den Inhalt der umfahrenen Fläche geradezu in einem bestimmten Flächenmaß, etwa in Quadratlinien oder Quadratmillimetern ablesen kann. Das praktische Verfahren bei der Anwendung des Apparates ergiebt sich aus der Beschreibung von selbst. — Wesentlich ist, daß die Bewegung des Kegels genau auf die Scheibe m übertragen werde, die Scheibe darf nicht gleiten, wenn sie rotiren soll, und da die Scheibe m auch noch die Reibungswiderstände des Zählapparates überwinden muß, so darf die Friction zwischen m und C nicht zu gering sein. Man darf daher nicht beide Theile aus Metall machen, sondern wenn man die Scheibe m aus Messing macht, so macht man den Kegel aus Holz.

Das Oppikofer'sche Instrument ist nach zwei verschiedenen Richtungen abgeändert worden. John Sang ließ die Platte A weg und gab dem Wagen B seine Führung durch zwei Rollen, die mit dem Kegel dieselbe Axe haben, der Ingenieur Wetli in Zürich aber setzte an die Stelle des Kegels eine ebene Scheibe, die ihre Rotation vom Schieber erhält, dagegen trennte er den Schieber vom Zählapparat, so daß der letztere die Bewegung des Schiebers und des Wagens nicht theilt.

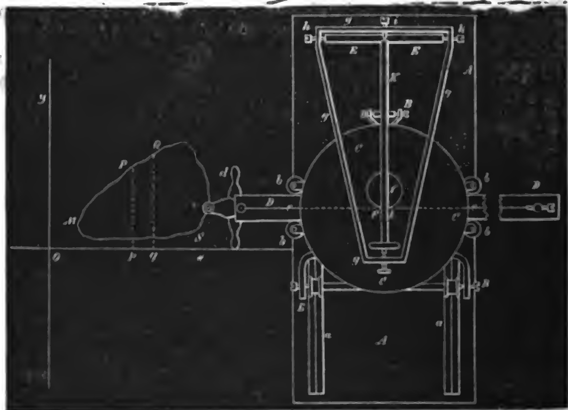
Sang's Planimeter ist in beistehender Figur dargestellt. A A sind zwei gleich große, etwas breite Rollen, die mit dem Kegel B auf derselben Axe C sitzen;



die Rollen haben einen etwas größeren Durchmesser als die Basis des Kegels. Die Rollen A ruhen auf der Fläche des Zeichentisches, und wenn sie sich auf dem Papier auf und ab bewegen, so wird die Axe des Kegels stets derselben Linie parallel sein. Die vier Frictionsrollen D D, von denen drei in der Abbildung

sichtbar sind, führen ein Gestell E mit dem Fahrstift F nach der rechten oder linken Seite parallel derjenigen Linie, welche sich auf der Oberfläche des Kegels parallel zum Papier ziehen läßt. Die Führung giebt ein Lineal G, das an die Zapfen der Rollenaxe C angehängt ist. Mit dem Gestell E ist das Inderrad H befestigt, dessen Rand den Kegel in jener Linie berührt, und welches durch den Kegel in Rotation versetzt wird. Die rotirende Bewegung des Inderrades ist folglich proportional der vorschreitenden Bewegung des Apparates multiplicirt mit dem Abstande des Inderrades von der Spitze des Kegels. Damit die Umdrehungen des Inderrades gezählt werden, kann es seine Bewegung noch einem zweiten Rade ertheilen, auch ist in J eine Lupe angebracht, um den Stand der Umdrehung genauer ablesen zu können. Da dieses Planimeter dasselbe Princip hat, als das Oppikofer'sche, so erhellt auch seine Theorie aus dem oben Angeführten. Zwar steht hier die Bewegung des Gestelles E gegen die Bewegung der Rollen A nicht senkrecht, wie dort die Bewegung der Rollen gegen die des Wagens, doch wird hierdurch die Wirksamkeit des Apparates nicht gestört, wie wir das weiter unten an dem Wetli'schen Planimeter zeigen werden. Dennoch möchte das Sang'sche Planimeter trotz seiner größeren Einfachheit dem Oppikofer'schen nicht vorzuziehen sein, besonders deshalb, weil das letztere sich leichter in gehöriger Genauigkeit wird darstellen lassen. Dagegen bietet das Wetli'sche Planimeter einen entschiedenen Fortschritt dar.

Beistehende Figur zeigt uns dieses Planimeter im Grundrisse in $^1/_4$ der natürlichen Größe. Eine starke Metallplatte AA dient hier wieder dem Instru-



ment als Grundlage. Ein dreifußiges Gestell läuft mittelst Rollen, welche an den Enden der Füße bei BBB sichtbar sind, auf parallelen Schienen a a wie ein Wagen hin und her. (Die mittlere Schiene und Rolle für den Fuß B ist durch die Axe KK gedeckt). In der Mitte des Dreifußes erhebt sich eine senkrechte

Axe, um welche die Scheibe C C mit genau ebener Oberfläche sich dreht. D D ist ein Schieberlineal, welches sich zwischen zwei Paar Rollen b b, die mit dem Dreifuß in fester Verbindung stehen, in einer zu den Schienen a a senkrechten Richtung bewegt. Am Ende dieses Schiebers befindet sich der nach unten zugespitzte Fahrstift c und die Handhabe d. Der Fahrstift hat also wieder die Bewegung des Dreifußes und des Schiebers, mit ihm kann also leicht der Umfang einer beliebigen Figur umfahren werden. Längst des Schiebers ist der Silberdraht e e ausgespannt, der sich um die unter der Scheibe auf ihrer Axe befindliche Welle f schlingt, und beim Hin- und Herschieben des Schiebers die Scheibe in Umlauf setzt. Ferner ist E E ein auf der Platte A A senkrecht stehender Ständer, mit welchem der Rahmen g g g g mittelst der Schraubenspitzen h h beweglich verbunden ist. Dieser Rahmen trägt an den Schraubenspitzen i i die Axe k k, an deren einem Ende sich die Rolle F befindet. Der ganze Rahmen mit der Axe k k und der Rolle F liegt auf der Scheibe auf, und zwar so, daß die Axe k k durch die Verlängerung der Axe der Scheibe geht und zugleich mit den Schienen a a und der Ebene A A parallel ist. Bei der Bewegung des Wagens gleitet die Rolle F auf der Scheibe in einem Durchmesser hin ohne Drehung, eine Verschiebung des Schiebers aber in der Richtung seiner Länge dreht die Scheibe, welche zugleich die Rolle F durch Friction in Umdrehung setzt. Die Scheibe besteht aus Messingblech, oder noch zweckmäßiger aus einer plangeschliffenen Glastafel und ist zur Vermehrung der Reibung mit feinem gleichförmigen Papier überzogen.

Um die Axendrehung der Rolle F zu messen, ist am Ständer E ein eingetheilter Kreis und an der Axe k k ein Zeiger C befestigt. Endlich befindet sich noch am Ständer ein Rädchen, welches in ein an der Axe k k befindliches Getriebe eingreift und dazu bestimmt ist, die Umläufe der Rolle F zu zählen. Rädchen und Getriebe sind in der Zeichnung nicht angegeben.

Alle Schrauben, deren Spitzen als Umdrehungsaxen dienen, sind mit Gegenmuttern versehen, überhaupt alle Theile mit großer Sorgfalt bearbeitet. Durch eine besondere Vorrichtung läßt sich mittelst einer Schraube die Berührung der Rolle F mit der Scheibe aufheben.

Die Rotation der Rolle F wird stets proportional sein der Bewegung des Fahrstifts in der Richtung des Schiebers multiplicirt mit dem Abstande der Rolle vom Scheibenmittelpunkt, und deshalb ist ähnlich wie beim Oppikofer'schen Apparat der Flächenraum der umfahrenen Fläche proportional der Gesammtdrehung der Rolle F.

Denken wir uns, der Wagen wäre so gestellt, daß die Rolle F gerade den Mittelpunkt der Scheibe berührt, so wird beim Herausziehen des Schiebers die Scheibe zwar rotiren, aber die Rolle muß stillstehen; der Fahrstift beschreibt eine gerade Linie (senkrecht zu den Schienen a a) und diese Linie X wollen wir als Abscissenaxe ansehen; durch einen beliebigen Punkt O derselben ziehen wir die Ordinatenaxe O Y parallel zu a a. Auf diese beiden Axen beziehen wir den Umfang M P Q S einer zu messenden Figur; P und Q seien zwei nahe bei einander liegende Punkte, die Coordinaten von P seien $x\,y$; die von $Q: x + dx,\ y + dy$. Steht der Fahrstift in P, so hat die Rolle F vom Scheibenmittelpunkt die Entfernung y, geht der Fahrstift von P nach Q, so macht der Schieber eine Bewegung um dx, der Wagen eine um dy. Es sei nun R der Radius der Welle f, um welche der

Silberfaden geschlungen ist; dann macht bei einer Bewegung des Schiebers um dx die Scheibe eine Winkeldrehung um $\frac{dx}{R}$, zwischen der Scheibe und der um y vom Scheibenmittelpunkte abstehenden Rolle F wälzt sich also ein Bogenstück von der Länge $\frac{y\,dx}{R}$ ab. Ist nun r der Radius der Rolle, so entspricht jenem Bogenstück der Rolle eine Winkeldrehung derselben um $\frac{y\,dx}{Rr}$. Umfaßt diese Drehung dv Theile der in n Theile getheilten Zeigerscheibe, so daß ein Theil einem Winkel $\frac{2\pi}{n}$ entspricht, so folgt die Gleichung

$$\frac{y\,dx}{Rr} = \frac{2\pi}{n}\,dx$$

$$1)\quad dv = \frac{n}{2R r\pi}\,.\,y\,dx.$$

Diese Gleichung zeigt, daß die Drehung des Zeigers beim Durchfahren eines beliebigen kleinen Bogenelementes proportional mit dem entsprechenden Flächenelemente $y\,dx = PpqQ$ ist. Hat nun der Zeiger beim Umfahren der ganzen Figur V Theile der Zeigerscheibe zurückgelegt, so folgt:

$$2)\quad V = \frac{n}{2Rr\pi}\int y\,dx = \frac{n}{2Rr\pi}\,.\,F,$$

wenn F den Flächeninhalt der umfahrenen Fläche bezeichnet. Soll die am Instrumente abzulesende Zahl zugleich die Anzahl der in F enthaltenen Flächeneinheiten sein, so muß $\frac{n}{2Rr\pi} = 1$ sein, d. h. es muß

$$r = \frac{n}{2R\pi}$$

sein. Wollte man z. B. durch das Instrument den Inhalt der Fläche direct in Quadratlinien haben, so theilt man die Anzahl der auf der Peripherie der Zeigerscheibe enthaltenen Theile (z. B. 200) durch die in Linien ausgedrückte Peripherie der Welle f. ($2R\pi$) und erhält den Rollenradius r in Linien ausgedrückt; sollte aber dasselbe Instrument geradezu den Inhalt der Fläche in Quadratmillimetern angeben, so müßte man dieselbe Zahl n durch die in Millimetern ausgedrückte Wellenperipherie ($2R\pi$) theilen, um den in Millimetern ausgedrückten Radius einer zweiten Rolle zu erhalten, die für jene erste aufgesteckt werden müßte. Hieraus sieht man zugleich, wie blos durch Auswechslung der Rolle F die Reduction der Fläche in ein anderes Flächenmaß vermieden werden kann. Allgemeiner gestaltet sich die letzte Formel, wenn wir allgemein mit f die Flächeneinheit bezeichnen, mit welcher gemessen werden soll, und unter F nur die vorhandene Anzahl solcher Einheiten verstehen; dann folgt:

$$3)\quad r = \frac{nf}{2R\pi}.$$

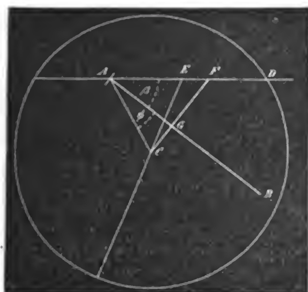
Jetzt läßt sich auch erkennen, daß es nicht wesentlich ist, daß die Schieberbewegung rechtwinklig zur Bewegung des Wagens steht. Bilden diese beiden Richtungen den beliebigen Winkel α, so haben wir, wenn wir obige Betrachtung abermals anwenden, nur schiefwinklige Coordinaten zu denken; Gleichung 1) bleibt bestehen, das Flächenelement ist aber jetzt $y \sin \alpha \, dx$, und es folgt:

$$V = \frac{n}{2 R r \pi \sin \alpha} \int y \sin \alpha \, dx = \frac{n}{2 R r \pi \sin \alpha} F$$

und

$$r = \frac{n f}{2 R \pi \sin \alpha}.$$

Eben so wenig braucht die Axe kk mit den Schienen aa parallel zu sein, auch braucht sie nicht durch die Axe der Scheibe zu gehen. Um dieses zu beweisen, bezeichnen wir in beistehender Figur mit C den Mittelpunkt der Scheibe, AB sei die Lage der Rollenaxe und in A berühre die Rolle die Scheibe, AD sei die gerade Linie, in welcher die Rolle die Scheibe berührt, wenn der Wagen bewegt wird, also ist AD parallel mit den Schienen. Der constante Winkel, den AB mit AD macht, sei β. CE sei die Bewegungsrichtung des Schiebers. Stellen wir nun den Wagen so, daß die Rolle auf E steht, und ziehen den Schieber heraus, so beschreibt der Fahrstift eine Gerade, die wir wieder als Abscissenaxe annehmen.



Alsdann ist immer $AE = y$. Ziehen wir nun CF senkrecht zu AB, so ist $EF = a$ eine constante Linie. Nun ist $AF = y + a$, $AG = (y + a) \cos \beta$ und setzen wir den veränderlichen Winkel $CAB = \varphi$, so folgt $AC = \frac{(y + a) \cos \beta}{\cos \varphi}$.

Nun mache der Fahrstift zugleich die beiden Bewegungen durch dx und dy. Bei der Bewegung durch dx dreht sich die Scheibe um den Winkel $\frac{dx}{R}$, also geht unter der Rolle A ein Bogen vorbei von der Länge $AC \cdot \frac{dx}{R} = \frac{(y + a) \cos \beta \, dx}{R \cos \varphi}$.

Da aber die Ebene der Rolle mit der Richtung der unter ihr stattfindenden Bewegung der Scheibe den Winkel φ bildet, so wird auf der Rolle nur der Bogen $AC \cdot \frac{dx}{R} \cdot \cos \varphi = \frac{y + a}{R} \cdot \cos \beta \, dx$ abgewälzt. Bei der Bewegung des Fahrstiftes durch dy rückt die Rolle um dy auf der Linie AD vor, und da diese Bewegung mit der Ebene der Rolle den Winkel $90^0 - \beta$ bildet, so wird hierdurch auf der Rolle der Bogen $\sin \beta \, dy$ abgewickelt. Hieraus folgt nun für die Winkeldrehung der Rolle bei der Bewegung des Stiftes durch dx und dy:

$$\frac{2\pi}{n} dv = \frac{y + a}{Rr} \cos\beta dx \pm \frac{\sin\beta dy}{r}.$$

Das Vorzeichen $\pm$ kann sich erst bestimmen, wenn die Vorzeichen der Coordinate bestimmt sind. Aus der letzten Gleichung folgt

$$dv = \frac{n \cos\beta}{2 R r \pi} . y dx + \frac{n a}{2 R r \pi} \cos\beta dx \pm \frac{n \sin\beta}{2 r \pi} dy.$$

In diesem Falle ist die Drehung dv des Zeigers beim Durchfahren durch ein kleines Bogenelement nicht proportional einem entsprechenden Flächenelement; integriren wir aber mit Bezug auf ein vollständiges Umfahren einer Figur, so folgt

$$V = \frac{n \cos\beta}{2 R r \pi \cos\alpha} F,$$

denn da der Fahrstift wieder in seinen Ausgangspunkt zurückkehrt, so ist $\int dx = o$ und $\int dy = o$.

Weiter folgt nun noch

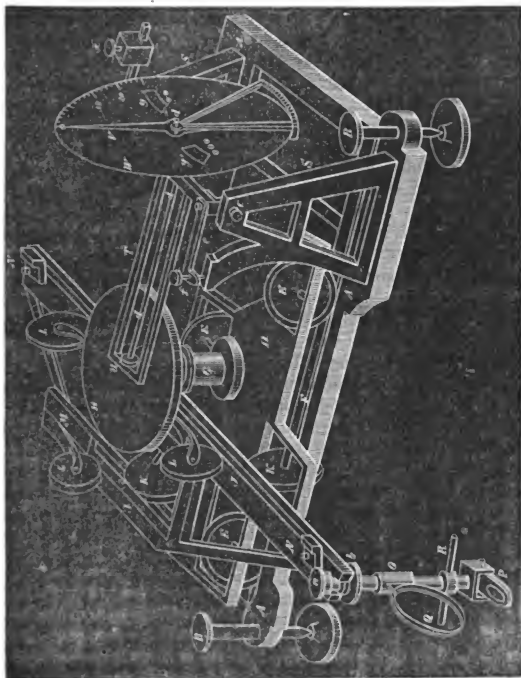
$$r = \frac{n f \cos\beta}{2 R \pi \cos\alpha}.$$

Es versteht sich, daß bei der Bestimmung von R zum Halbmesser der Welle noch die halbe Dicke des Silberdrahtes hinzu gerechnet wird.

Was die Schärfe betrifft, mit welcher der Apparat den Flächeninhalt angiebt, so ist dieselbe bei gut gearbeiteten Exemplaren so groß, daß sie durch die gewöhnlichen Methoden, die Fläche einer gezeichneten Figur zu berechnen, gar nicht controlirt werden kann. Um diese Schärfe nachzuweisen, wird dem Apparat gewöhnlich eine Messingplatte beigegeben, auf welcher Kreise und Rechtecke durch scharfe und tiefe Linien eingeschnitten sind, in denen die Spitze mit großer Sicherheit herumgeführt werden kann. So wurde ein solcher Kreis, dessen wirkliche Fläche 7,0741 Quadratzoll betrug, von Stampfer mit dem Planimeter gemessen, das Mittel von 10 Messungen war 7,0670 Zoll, die äußerste Abweichung von diesem Mittel betrug 0,004 Quadratzoll, also 0,00056 der Fläche. Der Apparat gab aber in der Regel die Flächen um $^1/_{1000}$ zu klein, wird dies beachtet, so war statt 7,0670 Quadratzoll der corrigirte Werth 7,0750 Quadratzoll zu setzen, und dieser Werth unterscheidet sich vom wahren Werthe nur um 0,0009 Quadratzoll. Der mittlere Fehler einer einzelnen Messung betrug überhaupt etwa $^1/_{4000}$ der Fläche.

Eine weitere Verbesserung, die sich aber nicht auf das Hauptprincip, sondern nur auf die größere Sicherheit in der Ausführung aller Bewegungen erstreckt und folglich auch eine noch größere Sicherheit in den Resultaten des Gebrauches giebt, hat das Wetli'sche Planimeter durch den Hofrath Hansen in Gotha erfahren, nach dessen Angaben das verbesserte Planimeter durch den Mechaniker Ausfeld in Gotha hergestellt wird. Umstehende Figur giebt eine Ansicht des Instruments. Das Fußgestell A ist hier ein 30 Centimeter langer, vorn 10 und hinten 15 Centimeter breiter und 1,2 Centimeter dicker Messingrahm, der mit drei Stellschrauben B auf beweglichen Holzschrauben ruht. Durch die Stellschraube kann der Rahmen höher oder tiefer und horizontal gestellt werden. Die horizontale Lage ist aber nur in so weit nöthig, daß dem Wagen und Schieber keine Veranlassung zu einer

freiwilligen Bewegung gegeben wird. Der Wagen D ist nach der Langseite des Rahmens beweglich. Er besteht aus einer 6fach durchbrochenen 0,8 Centimeter dicken Metallplatte; in den drei Längendurchbrechungen befinden sich drei in Spitzen laufende Rollen E, E, E, von denen die beiden vorderen in der Nuth F des Rahmens ihre Führung bekommen, während die hintere dritte flach auf



einer Schiene läuft. Die Rollen sind von Messing, ihre Axen und Lager aber von Stahl. Mit dem Wagen ist ein massiver Zapfen senkrecht und fest verbunden, auf diesem Zapfen ruht die Trommel G, die einen Durchmesser von 20,34 Millimeter hat. Sie ist genau cylindrisch abgedreht, ihre Axe fällt mit der Axe des Zapfens zusammen. Mit ihr ist die Scheibe H concentrisch verbunden, diese hat 10,5 Centimeter im Durchmesser und ist 3 Millimeter dick, sie ist von Messing, an der Oberfläche ganz eben geschliffen und mit gleichmäßig dickem Papier überzogen. Der Schieber J ist eine trapezförmig gestaltete, dreimal durchbrochene,

42 Centimeter lange und 0,7 Centimeter dicke Messingschiene. Er ruht auf drei Rollen K, welche in den Querdurchbrechungen des Wagens D an stählernen Axen in feinen Spitzen laufen. Zwei von diesen Rollen sind in der Figur sichtbar. Die beiden rechtseitigen greifen in eine Nuth des Schiebers ein, die dritte liegt glatt unter dem Schieber. Damit dieser von seiner Unterlage nicht herabfällt und eine möglichst sichere und dabei leichte Bewegung gestattet, wird er durch drei Leitrollen L sanft gegen die unteren Rollen gedrückt. Diese Leitrollen sind mit Messingfedern an einen auf das Hauptstück des unteren Schlittens geschraubten Träger M befestigt. In den beiden Ansätzen N des Schiebers ist parallel mit seiner Bewegungsrichtung der Silberdraht von der Stärke Nr. 25 eingeklemmt, der sich um die Trommel G schlingt. Anstatt des Fahrstiftes ist ein etwas zusammengesetzter Führer mit dem vorderen Ende des Schiebers verbunden. Der Haupttheil desselben ist ein senkrechter Träger O, welcher durch zwei Schrauben a und b höher und tiefer gestellt, horizontal gedreht und festgeschraubt werden kann. An seinem unteren Ende trägt er eine Fassung P für ein Glas, das in der Mitte einen kleinen Kreis hat, dessen Mittelpunkt auf dem Umfange der Figur herumgeführt wird, ferner befindet sich an diesem Träger eine Lupe Q, um jenen Kreis und den zu umfahrenden Umfang genauer betrachten zu können, und eine Handhabe R. Der Zählapparat ist wesentlich wie bei dem Wetli'schen Instrument. Zwischen zwei Ständern S, die mit dem Fußgestell verbunden sind, bewegt sich an den Spitzen c c der Rahmen T, dieser trägt die Axe d d mit der Rolle U und dem Zeiger V, dessen Stellung auf einer an der Peripherie der Scheibe W angebrachten Theilung abgelesen werden kann. Die Scheibe W ist mit dem Rahmen fest verbunden. Von dem Rahmen gehen noch zwei Arme aus, der eine trägt ein verschiebbares Gegengewicht X, durch welches der Druck der Rolle U gegen die Scheibe H regulirt werden kann, der andere Arm e führt eine Stellschraube f, durch welche man den Rahmen etwas auf und nieder bewegen kann. Durch diese Schraube kann man die Rolle U von der Scheibe H abheben und dann das Zeigerwerk selbstständig bewegen, um es etwa auf 0 einzustellen. Hinter der Scheibe W befindet sich ein Räderwerk, das durch die Welle d d in Bewegung gesetzt wird, mit ihm stehen die Zeiger zweier auf der Scheibe W befindlichen Nebenzifferblätter g, g' in Verbindung. Das Zeigerwerk ist so eingerichtet, daß der Hauptzeiger V Einheiten der Fläche bis zu 100, der Zeiger am rechtseitigen Zifferblatte g (00) die Hunderte und der an dem linkseitigen g' (000) die Tausende angiebt. Die Nebenzifferblätter sind so eingerichtet, daß hinter je einer Oeffnung in der Scheibe W eine Ziffer sichtbar wird. Der Gang des Zeigerwerks verlangt, daß die Figur rechtsläufig umfahren wird, wenn man auf dem Zifferblatte am Ende der Operation eine größere Zahl ablesen will, als am Anfange gelesen wurde.

Beim Gebrauch des Wetli'schen oder Hansen'schen Planimeters hat man noch folgende Regeln zu beobachten.

1) Um die günstigste Stelle zu finden, die man der Zeichnung zum Instrumente giebt, stelle man den Wagen so, daß die Rolle etwa den Mittelpunkt der Scheibe berührt, ziehe den Schieber bis zur Mitte seiner Beweglichkeit heraus und bewege dann nach dem Augenmaße die Mitte der zu messenden Figur unter den Schieber. Denn abgesehen davon, daß man nur in dieser Lage relativ große Figuren messen kann, vermeidet man hierdurch die größeren Entfernungen der Rolle vom Scheibenmittelpunkte, die leicht zu Fehlern führen können und erreicht

auch, daß der Zeiger entweder ausschließlich oder vorzugsweise nach einer Richtung sich bewegt.

2) Den Anfangspunkt des Umfahrens wähle man so, daß der Berührungspunkt zwischen der Scheibe und der Rolle dem Mittelpunkte der ersteren nahe liegt. Denn es kann leicht dadurch ein Fehler entstehen, daß man das Umfahren der Figur nicht genau mit demselben Punkte des Umfanges beendet, an welchem man begonnen hatte. Denn hat man einen kleinen Theil des Umfanges zu viel oder zu wenig umfahren, so ist der dadurch entstandene Fehler nach Gleichung (1)

$$dv = \frac{n}{2 R r \pi} y dx.$$

Er wird also um so kleiner sein, je kleiner y ist; wird nun dieser Fehler gemacht, wenn der Führer in der Nähe der Abscissenaxe ist, wo $y = 0$ oder doch sehr klein ist, so wird er auch nur unbedeutend werden. Noch kleiner wird er werden, wenn auch $dx = 0$ zu setzen ist, d. h. wenn man der Figur eine solche Lage geben kann, daß ihr Umfang die Abscissenaxe einmal rechtwinklig schneidet, und wenn man dann in diesem Punkte das Umfahren der Figur beginnt.

3) Man umfahre die Figur mit mäßiger und möglichst gleichförmiger Geschwindigkeit. Denn bei größerer Geschwindigkeit und plötzlichen Aenderungen derselben kann in Folge des Beharrungsvermögens des Zeigers leicht ein Voreilen oder Zurückbleiben der Rolle eintreten. Aus diesem Grunde ist auch der Zeiger so leicht als möglich zu machen.

Zur Prüfung des Planimeters giebt Prof. Stampfer, der zuerst den Wetli'schen Apparat beschrieben hat, außer der Messung einer anderweitig schon bekannten Fläche noch das Verfahren an, mit dem Fahrstift (oder mit dem Führer) eine gerade Linie hin und zum Ausgangspunkte zurück zu beschreiben. Die Ablesung muß mit jener am Anfang verglichen = 0 sein. Den Versuch kann man leicht an verschiedenen geraden Linien wiederholen.

Dem oben mitgetheilten Bericht der Messung eines Kreises mit dem Wetli'schen Planimeter wollen wir noch die Resultate einer Kreismessung hinzufügen, die Prof. Bauernfeind mit dem Hansen'schen Planimeter ausführte. Der Kreis war mit äußerster Schärfe auf eine Metallplatte gravirt, hatte 22,05 baierische Decimallinien Durchmesser, also 381,86 Decimalquadratlinien Fläche.

Beobachtung	Zeit	Ablesung	Fläche	Unterschied
	8^h 48'	0		
1		382,0	382,0	— 0,2
2		764,1	382,1	— 0,1
3		1146,4	382,3	+ 0,1
4		1528,5	382,1	— 0,1
5		1910,7	382,2	0
6		2293,0	382,3	+ 0,1
7		2675,3	382,3	+ 0,1
8		3057,6	382,3	+ 0,1
9		3440,0	382,4	+ 0,2
10	9^h 3'	3822,0	382,0	— 0,2

Resultate. Zeit einer Beobachtung durchschnittlich = 1,5 Minute; mittlere Fläche aus 10 Beobachtungen 382,2 Quadratlinien; Abweichung dieser Fläche von der berechneten = + 0,34 Quadratlinien; Verhältniß dieser Abweichung zur ganzen Fläche = 1 : 1124; größte Abweichung der einzelnen Beobachtungen von dem durch Beobachtung gefundenen Mittel = 0,2 Quadratlinien; Verhältniß dieser Abweichung zur ganzen Fläche = 1 : 1911.

Um die Zeitersparniß, die man durch den Planimeter gewinnt, zu zeigen, ließ Bauernfeind zwölf zusammenhängende, theils geradlinig, theils krummlinig begrenzte Parcellen eines Katasterplanes, so wie deren Gesammtfläche auf gewöhnliche Art und sodann mittelst des Planimeters zweimal berechnen. Die einzelnen Parcellen wurden zusammen in 4 Stunden und 33 Minuten berechnet, der Planimeter gab die Fläche in 20 Minuten, die Gesammtfläche wurde in 2 Stunden 40 Minuten berechnet, der Planimeter bestimmte sie in 3 Minuten. Die Summe aller berechneten Parcellenflächen wich von der berechneten Gesammtfläche um $^1/_{400}$ ab; die Summe der durch den Planimeter bestimmten Meßangaben wich von dem durch Umfahren der Gesammtfläche erhaltenen Resultate nur um etwa $^1/_{2000}$ ab.

So vollständig nun auch der Hansen'sche Planimeter dem praktischen Bedürfnisse entspricht, so läßt sich doch gegen ihn noch vorbringen, daß er wegen der unbedingt nothwendigen sorgfältigen Ausführung im Preise hoch zu stehen kommt und daß der Spielraum des Führers ein verhältnißmäßig nur geringer ist. Man ist daher bemüht gewesen, einfachere Instrumente zu erfinden, die bei gleicher Leistung leichter herzustellen sein würden. Von den in neuerer Zeit vorgeschlagenen Planimetern, die in ihrer Einrichtung wesentlich von dem Wetli'schen Planimeter abweichen, wollen wir hier nur einen, den Amsler'schen Polarplanimeter erörtern, da er in mehrfacher Beziehung den Vergleich mit den älteren Instrumenten verdient. Er heißt Polarplanimeter, weil er sich auf das Princip der Polarcoordinaten stützt, ähnlich wie der Oppikofer'sche Planimeter das Princip der Parallelcoordinaten zur Grundlage hat.

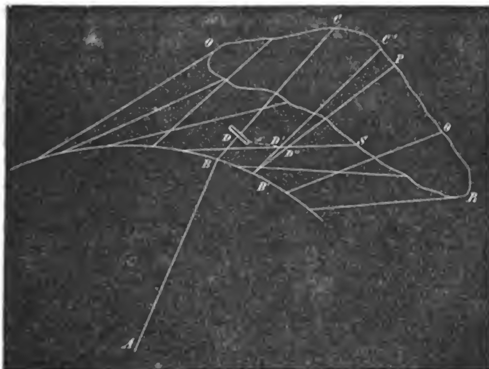
Ehe wir das Instrument selbst beschreiben, wollen wir das Princip betrachten. Es sei AB (s. umstehende Fig. I. und II.) eine Schiene, die sich um den festen Punkt A dreht, in B habe eine zweite Schiene BC ihren Drehpunkt und am anderen Endpunkte C dieser Schiene befinde sich der Fahrstift; an irgend einer Stelle dieser Schiene, etwa in D befinde sich eine Rolle, die sich um eine mit BC parallele Axe dreht. Mit dieser Rolle ruht das Instrument auf der Ebene der zu messenden Zeichnung auf und bei der Bewegung des Instrumentes wird dann in bekannter Weise die Rolle in Rotation versetzt. In irgend einer Art läßt sich die Größe dieser Rotation messen. Umfährt man nun mit dem Fahrstift C irgend eine ebene Figur, so läßt sich stets aus der Größe der stattgefundenen Rotation der Rolle die Größe der umfahrenen Figur erkennen.

Amsler unterscheidet in einer Abhandlung *), in der er seinen Planimeter erörtert, zwei verschiedene Fälle bei der Anwendung derselben. Entweder liegt

*) Ueber die mechanische Bestimmung des Flächeninhaltes, von Amsler. Schaffhausen 1856.

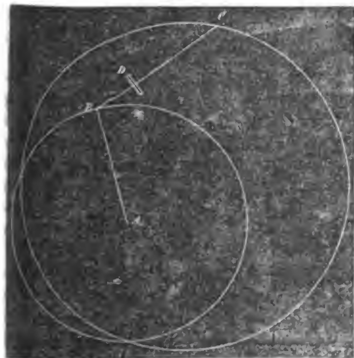
der Drehpunkt A außerhalb der zu messenden Fläche, und dann machen beim Umfahren der Figur die beiden Schienen keine vollständigen Drehungen, sondern nur

I.



Oscillationen, oder der Drehpunkt A liegt innerhalb der zu messenden Fläche, und die Schiene AB macht dann beim Umfahren der Figur eine vollständige Drehung' während der Winkel, den beide Schienen mit einander bilden, nur zwischen zwei festen Grenzwerthen sich ändert. Jenen Fall stellt Fig. I., diesen Fig. II. dar; in beiden Fällen macht die Schiene BC keine vollständige Drehung um B, die auch ohnehin durch das Instrument selbst meist unausführbar gemacht wird. Denkt man sich jedoch die Schiene AB so hoch liegen, daß die Schiene BC sammt dem Fahrstift unter ihr hindurch geführt werden kann, so ließen sich theoretisch noch zwei andere Fälle unterscheiden. In dem einen würde AB nur eine Oscillation, BC aber eine vollständige Drehung machen, im anderen würden beide Schienen, jede um ihren Drehpunkt, eine vollständige Drehung machen. Da diese letzten beiden Fälle aber in der Regel durch das Instrument selbst unmöglich gemacht werden, so genügt es nur jene beiden ersten zu betrachten. Fig. I. giebt die verschiedenen Lagen an, welche die

II.



Schiene B C annimmt, wenn der Fahrstift C die Figur O P Q R S umfährt. Geht diese Schiene aus der Lage A C in die benachbarte B' P über, so läßt sich ihre Bewegung in zwei andere zerlegen, in die parallele Verschiebung von B C bis B' C' und in die Drehung um B' von B' C' bis B' P. Jede dieser beiden Bewegungen hat auf die Rotation der Rolle D Einfluß; während der parallelen Verschiebung rückt die Rolle von D nach D' und während der Drehung rückt sie von D' nach D''. Während die Rolle von D nach D' rückt, wälzt sie selbst keinen Bogen von der Länge D' D ab, denn diese als gerade gedachte Linie liegt nicht in der Ebene der Rollenrotation, sondern die Länge des von ihr abgewickelten Bogens ist gleich der Projection von D D' gegen die Ebene der Rolle, also gleich dem senkrechten Abstande von B C und B' C', folglich ist dieser Theil der Rotation stets proportional dem Parallelogramm B C C' B'. Während der Drehung der Schiene von B' C' bis B' P wird sich auch die Rolle D um den Bogen D' D'' drehen. Diese Rotation würde aber nur in gleicher Weise der Fläche des Sectors B C' P parallel sein, wenn die Rolle D gerade auf der Mitte der Schiene B C säße, in jedem anderen Falle bleibt diese Drehung der Rolle zwar dem Sector B' C' P proportional, aber in einem anderen Verhältniß, als in welchem die Rotation von D bis D' dem Parallelogramm B C C' B' proportional ist. Daher ist die Rotation der Rolle während der Bewegung der Schiene von B C bis B' P nicht der von der Schiene beschriebenen Fläche B C P B' proportional, wohl aber ist sie einer anderen Fläche proportional, die sich von B C P B' um einen constanten Theil des Drehungssectors B' C' P unterscheidet. Dieses Gesetz wird auch noch für größere Bewegungen der Schiene gelten. Nun beachte man, daß die Schiene in dem in Fig. I. S. 375 angenommenen Falle zwei verschiedene Bewegungen hat, eine vorschreitende und eine rückläufige; bei der letzteren wird die Rolle auch sich wieder zurückdrehen, wie ja auch die jetzt von der Schiene beschriebene Fläche von der vorher beschriebenen in Abzug gebracht werden muß; immer aber wird die Rotation der Rolle einer Fläche proportional sein, die sich von der von der Schiene beschriebenen Fläche um den constanten Theil eines Sectors unterscheidet, der dem Drehungswinkel der Schiene entspricht; je geringer also diese Drehung ist, desto kleiner auch der Unterschied.

Umschreibt man nun mit dem Fahrstift den Umfang einer ebenen Figur vollständig in der Art der Fig. I. S. 375, so ist die von der Schiene B C beschriebene und nicht wieder zurückbeschriebene Fläche eben der Inhalt jener umfahrenen Figur, und da die Schiene am Schluß des Umfahrens gerade wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückgekehrt ist, also schließlich keine Drehung hat, so fällt auch jetzt der Differenzsector weg und es folgt, daß beim Umfahren einer den Drehpunkt A nicht einschließenden Figur die Rotation der Rolle dem Flächenraum der umfahrenen Figur proportional ist.

Liegt aber, wie in Fig. II. S. 375, der Drehpunkt A innerhalb der umfahrenen Figur, so wird einmal von der Rotation der Rolle der durch die Schiene A B beschriebene volle Kreis nicht gemessen, ferner kehrt die Schiene B C nur nach einer vollbrachten Rotation in ihre ursprüngliche Lage zurück, woraus folgt, daß in diesem Falle die Rotation der Rolle einer Fläche proportional ist, die um den von A B beschriebenen Kreis und um einen constanten Theil des von B C beschriebenen Kreises kleiner ist als die umschriebene Fläche. Man findet also auch in diesem Falle den

Inhalt der umschriebenen Figur leicht, wenn man zu der Angabe des Instrumentes eine constante Größe addirt.

Um diese Verhältnisse in einer allgemeineren und strengeren Form zu übersehen, wollen wir mit φ den Winkel bezeichnen, den AB (Fig. I. S. 375) mit irgend einer festen Axe bildet, ψ sei der Winkel, den BC mit der Verlängerung von AB bildet. Während sich die Schienen von ABC nach AB'P bewegen, gehe φ in $\varphi + d\varphi$ und ψ in $\psi + d\psi$ über, dabei mache die Rolle die Drehung dv in Theilen ihrer Theilung ausgedrückt. Die von den Schienen beschriebene Fläche sei F, also die Fläche zwischen ABC und AB'P sei mit dF bezeichnet, ferner sei $AB = a$, $BC = b$, $BD = c$, und der Radius der Rolle sei r, ihre Peripherie aber in n Theile getheilt.

Nun ist $\angle BAB' = d\varphi$, $\angle C'B'P = d\varphi + d\psi$, Sector ABB' ist $\frac{a^2 d\varphi}{2}$, Parallelogramm $BCC'B' = ab\cos\psi\, d\varphi$, Sector $C'B'P = \frac{b^2}{2}(d\varphi + d\psi)$; folglich ist

$$dF = ab\cos\psi\, d\varphi + \frac{a^2}{2}\, d\varphi + \frac{b^2}{2}(d\varphi + d\psi).$$

Ferner ist $DD' = BB' = a\,d\varphi$, der von D bis D' auf der Rolle abgewickelte Bogen aber ist $a\cos\psi\, d\varphi$, ferner ist $D'D'' = c\,(d\varphi + d\psi)$, folglich der gesammte von der Rolle abgewickelte Bogen $= a\cos\psi\, d\varphi + c\,(d\varphi + d\psi)$, dieser umfaßt dv Theile der Theilung, jeder Theil hat die Länge $\frac{2r\pi}{n}$; folglich ist

$$\frac{2r\pi}{n}\, dv = a\cos\psi\, d\varphi + c\,(d\varphi + d\psi), \text{ oder}$$

$$a\cos\psi\, d\varphi = \frac{2r\pi}{n}\, dv - c\,(d\varphi + d\psi).$$

Setzen wir diesen Werth in obige Gleichung, so folgt:

$$dF = \frac{2br\pi}{n}\, dv + \frac{a^2 + b^2 - 2bc}{2}\, d\varphi + \frac{b\,(b - 2c)}{2}\, d\psi.$$

Diese Gleichung giebt nun die Lösung für alle vier denkbaren Fälle, denn bezeichnen wir mit V die Gesammtrotation der Rolle in Theilen der Theilung, nachdem die ganze Figur umfahren ist, so folgt:

$$F = \frac{2br\pi}{n} V + \frac{a^2 + b^2 - 2bc}{2} \int d\varphi + \frac{b\,(b - 2c)}{2} \int d\varphi$$

Im Fall der Fig. I. S. 375, wo φ und ψ sich nur zwischen festen Grenzen bewegen, ist $\int d\varphi = o$ und $\int d\psi = o$, also:

$$F = \frac{2br\pi}{n} V.$$

Soll nun V geradezu den Inhalt von F in Einheiten von der Größe f angeben, so muß $2br\pi = nf$ sein, woraus folgt

$$b = \frac{nf}{2r\pi}.$$

Macht man nun die Schiene B C verschiebbar, so kann man durch dasselbe Instrument die Flächen nach beliebigen Maßeinheiten messen.

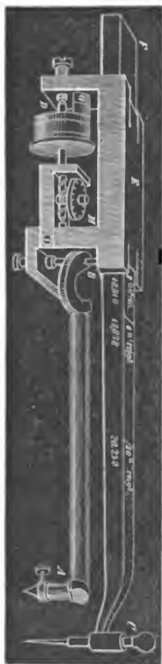
Im Fall der Fig. II. S. 375 ändert sich ψ zwischen festen Grenzen, aber φ macht eine volle Drehung, es ist demnach $\int d\varphi = 2\pi$, $\int d\psi = 0$, also folgt

$$F = \frac{2\,b\,r\,\pi}{n}\,V + (a^2 + b^2 - 2\,b\,c)\,\pi.$$

Ist nun wieder $2\,b\,r\,\pi = n\,f$, so kann man durch den Ausdruck $(a^2 + b^2 - 2\,b\,c)\,\pi$ sehr leicht ein für allemal die Größe berechnen, die zu der Angabe des Instrumentes addirt werden muß, um F zu finden.

Läßt das Instrument noch die Bewegung zu, daß ψ sich von o bis 2π ändert, so würde in einem solchen Falle $\int d\psi = 2\pi$ zu setzen sein. Das Amsler'sche Instrument läßt diese Bewegung nicht zu, weshalb wir die beiden hierher gehörigen Fälle auch nicht weiter verfolgen wollen.

Im Falle der Fig. I. S. 375 ist das Resultat von c und auch von a unabhängig, man kann also auch $a = \infty$ setzen, in diesem Falle wird der von B beschriebene Kreisbogen eine gerade Linie. Man kann also die Schiene A B ganz weglassen, wenn man dem Punkte B eine geradlinige Führung giebt.



Nebenstehende Figur stellt die Ausführung dar, welche Amsler seinem Princip gegeben hat. A B ist die erste Schiene, bei A ist ein Nadeleinsatz, der dem Apparat die drehbare Befestigung giebt, bei B ist eine verticale Are, deren Spitzen ihre Lager in der Hülse E haben, C F ist die zweite Schiene, die in der Hülse E verschiebbar ist, dort aber durch Reibung festgehalten wird. Auf der oberen Fläche der Schiene C F sind einige Marken angebracht, die angeben, wie weit diese Schiene in die Hülse geschoben werden muß, damit die Angaben des Instrumentes nach einem gewissen Maßstabe erfolgen. Die Are der Rolle D ist parallel mit einer Verticalebene, welche durch die Mitte der Are B und die Spitze des Fahrstiftes C geht. Der äußerste Rand der Rolle ist abgerundet und polirt; ihr cylindrischer Limbus ist in 100 oder 200 Grade eingetheilt. Der Stand der Theilung kann mittelst des an der Hülse E angebrachten Nonius G bis auf Zehntelgrade genau abgelesen werden. Die Zahl der ganzen Umdrehungen wird durch das Rädchen H gezählt, welches an der Are der Rolle D mittelst einer Schraube getrieben wird. Während jeder Messung behält der Stab C F in der Hülse eine unveränderliche Stellung. Die Hülse ist an den Enden aufgeschnitten und die durch die Einschnitte gebildeten Lappen dienen als Federn.

Wir haben oben gesehen, daß zu den Angaben des Instrumentes dann noch eine gewisse Größe addirt werden muß, wenn der Befestigungspunkt des Instrumentes inner-

halb der zu messenden Figur liegt; diese Zahlen sind an einer Seitenfläche des Stabes FC eingravirt, stets correspondirend der oben angebrachten Meßmarke.

Im Vergleich mit dem Wetli'schen Planimeter bietet der Polarplanimeter den Vortheil größerer Einfachheit, deshalb fallen auch mehrere Fehlerquellen jenes ersten Apparates weg, z. B. die vielen Leitrollen, der elastische Draht, jede Art von Biegung durch Druck, dagegen steht er hinter dem Wetli'schen zurück wegen der größeren Unbequemlichkeit im Ablesen der Drehung der Rolle und wegen der meist ungenaueren Fläche, auf welcher die Rolle läuft. Dagegen kann der Polarplanimeter verhältnißmäßig größere Flächen ohne vorgängige Zerlegung messen und in sehr einfacher Weise für verschiedene Maßsysteme eingestellt werden.

Bereits ausgeführte Instrumente dieser Art gaben eine Genauigkeit von etwa $^1/_{1000}$ der gemessenen Fläche.

Zum Schluß wollen wir noch die Preise einiger Planimeter hersetzen, wie sie Amsler in seiner Schrift giebt.

Ein Planimeter nach Oppikofer
bei Lerebours u. Secretan in Paris . . . . 425 Fr.
Ein Planimeter nach Wetli
bei Chr. Starke in Wien . . . . 450 "
bei Hamberg in Stockholm . . . . 400 "
bei Goldschmid in Zürich . . . . 180 "
Ein Planimeter mit Hansen's Verbesserungen
bei Ausfeld in Gotha . . . . 300 "
Ein Polarplanimeter nach Amsler
bei Goldschmid in Zürich . . . . 50 "
bei Kirchhofer-Amsler in Schaffhausen . . . 50 "
mit Theilung der Laufrolle in 200 Grade . . . . . 60 "

Literatur. Ueber Ernst's Planimeter. Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXXVI. S. 33.

Schiereck, Pedometer, ein Instrument, um den Flächeninhalt in Karten ohne Rechnung zu erhalten. Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXXII. S. 251.

Beuvière, Planimètre. Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie. 1846. p. 185.

Coyne, Leblanc, Planimeter. Description des machines et procédés consignés dans les brevets d'invention etc. Paris. T. LX. p. 41.

Horsky und Kraft, Planimeter. Polyt. Centralbl. 1850. S. 279.

Beuvière, Planimètre sommateur. Bulletin de la société d'encour. 1850. p. 97.

Stampfer, über das neue Planimeter des Kaspar Wetli. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXVI. S. 424.

Sang's Planimeter. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXII. S. 420.

Bauernfeind über Planimeter. Dingler's polytechnisches Journal. Bd. CXXXVII. S. 82.

Decher's Planimeter. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVI.

Keller und Füchtbauer, Planimeter. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 84.

Bruniakovsky, Planimeter. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXL. S. 27.

Bauernfeind, die Planimeter von Ernst, Wetli und Hansen. München 1853.

Amsler, über mechanische Bestimmung des Flächeninhaltes, der statischen Momente und der Trägheitsmomente ebener Figuren. Schaffhausen 1856.

W. S.

Platin, ein Metall*). Chemisches Zeichen = Pt. Aequivalent = 1232,08 (0 = 100) oder 98,724. — Die Geschichte dieses Metalles hat zu vielfachen Streitigkeiten Veranlassung gegeben, indem Einige behaupten, daß es bereits den Alten bekannt gewesen sei. Die Ansicht, daß das Platin das Elektrum und Kassiteros der Alten sei, ist aber als falsch nachgewiesen, namentlich durch Schubarth und Kopp. Dagegen scheint es wahrscheinlich, daß man das Platin bereits im 16. Jahrhundert gekannt habe. Wenigstens berichtet Scaliger von einem Metalle aus Darien, daß es unschmelzbar sei, weshalb man auch nicht alle Metalle als schmelzbar definiren dürfe. Da noch heute in dieser Gegend — in Neugranada — viel Platin vorkommt, so ist es sehr wahrscheinlich, daß er dieses Metall bei jener Angabe im Auge gehabt hat. Erst 200 Jahre später spricht der spanische Mathematiker Don Antonio de Ulloa, der an der bekannten französischen Expedition nach Peru behufs einer Gradmessung theilnahm, 1748 wiederum von dem Platin. Seine Angaben waren aber höchst unvollständig. Er berichtet von dem Platin, daß es ein unbearbeitbarer metallischer Stein sei, welcher sogar die Verarbeitung der Golderze verhindere, wenn er darin in zu großer Menge vorkomme. Als ein eigenthümliches Metall wurde es zuerst 1750 von Watson beschrieben. Der Name rührt aus dem Spanischen her; es ist ein Deminutivum des spanischen Wortes Plata, Silber. — Die außerordentlichen Eigenschaften dieses neuen Metalles erregten große Aufmerksamkeit, so daß sich die Chemiker seit jener Zeit sehr ernstlich damit beschäftigt haben. Die ersten genaueren Untersuchungen darüber veröffentlichte Scheffer in den Schriften der Stockholmer Akademie von 1752; ferner Lewis in den Phil. Transactions von 1753, Marggraf in den Schriften der Berliner Akademie von 1757, Marquer und Beaumé in den Schriften der Pariser Akademie von 1758, Cronstadt in den Schriften der Stockholmer Akademie von 1764. Die älteren Arbeiten wurden durch Morin gesammelt und 1758 unter dem Titel: „Das Platin, das weiße Gold oder das ächte Metall" veröffentlicht. Marquer und Beaumé geben den Grund an, weshalb das Platin früher so selten war. Die spanische Regierung hatte nämlich

---

*) Literatur. Guyton: Gilb. Ann. Bd. I. S. 369, Bd. XXXVI. S. 301. Rochon: ebenda, Bd. IV. S. 284. Descotils, ebenda, Bd. XXVII. S. 231. Proust: Scheerer's Journ. Bd. VII. S. 526. Fourcroy und Vauquelin: Gilb. Ann. Bd. XIX. S. 122, Bd. XXIV. S. 209. Vauquelin: ebenda, Bd. XXIV. S. 406, Bd. XXV. S. 206. Schweigger's Journ. Bd. XX. S. 394 und 451. Cloud: Gilb. Ann. Bd. LXXVII. S. 253. Barruel: Phil. mag. 1822. p. 171. Boussingault: Pogg. Ann. Bd. VII. S. 520. Breithaupt: ebenda, Bd. VIII. S. 500. Humboldt: Kersten's Arch Bd. XVII. S. 322. Pogg. Ann. Bd. VII. S. 515, Bd. X. S. 487. Kupffer: ebenda, Bd. XVI. S. 284. Villain: ebenda, Bd. XXXI. S. 16 und 590. G. Rose: ebenda, Bd. XXXI. S. 673. Sobolewsky: ebenda, Bd. XXXIII. S. 99. Wrede: ebenda, Bd. XXXIV. S. 380. Svanberg: ebenda, Bd. XXXVI. S. 471. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXI. S. 167. Hartmann: Pogg. Ann. Bd. LV. S. 526. Claus: Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXII. S. 479. Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. LXIV. S. 294.

verboten, das Platin in den Handel zu bringen, da es dem Golde in beträchtlicher Menge als Verfälschung zugesetzt werden konnte, ohne daß die Farbe des Goldes dadurch verändert wurde.

Ferner beschäftigten sich mit der Untersuchung des Platins im vorigen Jahrhundert: Buffon, Milly und Guyton, Sickingen, Tillet, Bergmann *), Achard, Lavoisier, Pelletier und Mussin-Puschkin. In neuerer Zeit haben sich besonders Tennant **), Wollaston ***), Davy ****), Berzelius *****), Osann †), Döbereiner ††), Thénard, Dulong und Laugier †††), damit beschäftigt. Erst 1823 entdeckte man das Platin im Ural; bis dahin war Amerika die einzige Bezugsquelle.

Das Platin findet sich nur gediegen und zwar rein mit Palladium gemengt in Brasilien; ferner in Verbindung mit Palladium, Rhodium, Ruthenium, Iridium, Osmium, Eisen, Kupfer, Blei, auch Silber und gemengt mit Körnern von Osmiumiridium, Gold, Titaneisen, Chromeisenstein, Hyacinth, Spinell und Quarz im rohen Platinerz oder Platinsande. Das Platinerz kommt meistens in kleinen, unregelmäßigen Körnern vor, die zuweilen eine Spur von Krystallisation zeigen. Bisweilen erreichen diese Körner ein bedeutendes Gewicht. So brachte A. v. Humboldt ein Stück Platinerz aus Amerika mit, das die Größe eines Taubeneies hatte und 1080,6 Grm. (2,310 Pfd.) wog. Am Ural hat man dagegen Stücke bis zu einem Gewicht von 20 Pfd. gefunden. Oft enthält das Platinerz so viel Eisen, daß es vom Magneten angezogen wird. Den Platinsand findet man meistens in Flüssen und im aufgeschwemmten Lande gemeinschaftlich mit dem Goldsande. Zuerst fand man das Platin im Sande des Flusses Pinto in Brasilien, später an verschiedenen anderen Orten desselben Landes, in Columbien, Mexiko, auf St. Domingo, Borneo. Auf der letzteren Insel werden nach Dana jährlich 6 — 700 Pfund Platinerze gewonnen. In sehr beträchtlicher Menge kommt das Platin auf dem westlichen Abhange des Urals vor. Nur einmal ist das Platin bis jetzt in anstehendem Gestein gefunden worden und zwar von Boussingault in den Goldgruben von Santa Rosa in Antioquia in Südamerika und zwar mit Gold in einem Gange von verwittertem Syenit. Die ursprüngliche Lagerstätte des Platin scheint Serpentin zu sein, der verwittert und weggeführt worden ist.

Patterson und Teschemacher entdeckten das Platin auch in dem californischen Goldsande. Es findet sich hier in so großer Menge wie in Südamerika.

---

*) Opusc. T. II. p. 166.

**) Gilbert's Ann. Bd. XIX. S. 118 und 254.

***) Gilbert's Ann. Bd. XIX. S. 126. und 255, Bd. XXXVI. S. 303. Pogg. Ann. Bd. XV. S. 299, Bd. XVI. S. 158.

****) Schweigger's Journ. Bd. X. S. 382, Bd. XXXI. S. 340.

*****) Schweigger's Journ. Bd. VII. S. 55, Bd. XXXIV S. 81. Pogg. Ann. Bd. XIII. S. 435. 527 und 564.

†) Schweigger's Journ. Bd. VIII. S. 505, Bd. XI. S. 311, Bd. XIII. S. 283, Bd. XIV. S. 329, Bd. XV. S. 158.

††) Schweigger's Journ. Bd. XXXVIII. S. 322. Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 180, Bd. XXXVI. S. 308 und 458, Bd. XXXVII. S. 545. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XIV. S. 231.

†††) Annal. de Chim. et de Phys. T. XXXIX. p. 289. Pogg. Ann. Bd. VII. S. 517.

Teschemacher fand in einer Unze Goldkörner 50 Platinkörner. Auch in Pennsylvanien ist von Genth Platin gefunden worden in einem Thonschiefer und in einer Ausscheidung von Titaneisen im Glimmerschiefer von Lancaster County. Der Goldsand des Rheines enthält nach Döbereiner $^1/_{2400}$ Platin; ferner findet es sich, aber nur in geringer Menge, am Harz, in Frankreich, Spanien, in Irland und Siebenbürgen. 1847 fand Gueynard an vier verschiedenen Stellen in den Alpen Platin, jedoch gleichfalls nur in geringer Menge, nämlich zu Chapeau in Vallé du Drac, zu St. Arey, Dep. Isère, an der Montagne des Boussesin in Oisans und am rechten Ufer des Bans in Savoyen. Später hat derselbe Forscher eine allgemeine Verbreitung des Platin in den Alpen nachgewiesen. Er fand Spuren desselben nicht allein in einer großen Anzahl von Erzen, sondern auch in Dolomit, Schwerspath und Eisenspath von verschiedenen Fundorten. Nach Pettenkofer ist das Vorkommen des Platin noch viel allgemeiner. Nach ihm ist alles im Handel vorkommende Silber platinhaltig.

In der Zusammensetzung sind die verschiedenen Platinerze, wie dies aus den nachstehenden Analysen hervorgeht, nicht sehr von einander verschieden.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Platin	78,94	73,58	86,50	84,30	86,16	84,34	82,60
Iridium	4,97	2,35	—	1,46	1,09	2,58	0,66
Rhodium	0,86	1,15	1,15	3,46	2,16	3,13	—
Osmium	—	—	—	1,03	0,97	0,19	0,30
Palladium	0,28	0,30	1,10	1,06	0,35	1,66	—
Eisen	11,04	12,98	8,32	5,31	8,03	7,52	10,67
Kupfer	0,74	5,20	—	0,74	0,40	—	0,13
Gold	—	—	—	—	—	—	0,20
Osmium-Iridium	1,96	2,30	1,40	0,72	2,01	1,87	3,80
	98,75	97,86	98,92	98,08	101,17	101,29	98,36.

I. Von Nischne-Tagilsk, nicht magnetisch (Berzelius). II. Von ebenda, magnetisch Berzelius). III. Von Goroblagodat in Sibirien (Berzelius). IV. Von Barbacoas in Südamerika (Berzelius). V. Von Choco in Südamerika (Svanberg). VI. Von Pinto in Südamerika (Svanberg). VII. Von Borneo (Böcking).

Der Sand wird zuerst gewaschen, um das Platin mehr zu concentriren. Der platinreiche Sand enthält aber noch viele andere Metalle und Mineralien. Auf mechanischem Wege sucht man dann die Erze so viel als möglich zu reinigen; dies geschieht durch Aussuchen und mit Hülfe des Magneten. Das Gold entfernt man durch Amalgamation und das Eisen durch verdünnte Chlorwasserstoffsäure. Dann bringt man das Erz in eine tubulirte Retorte und erhitzt dasselbe mit Königswasser, das aber einen großen Ueberschuß an Chlorwasserstoffsäure enthält. Man setzt in der Regel etwas Wasser hinzu, damit so wenig als möglich vom Iridium aufgelöst wird. Durch letzteres wird das Platin leicht brechend. Die Säure wird so oft erneuert, bis keine Einwirkung mehr stattfindet, also das Platin vollständig aufgelöst worden ist. Der Ueberschuß der Säure wird abdestillirt und die rückbleibende Salzmasse in möglichst wenig heißem Wasser aufgelöst und die Lösung von dem Rückstande abgegossen. Die bei der Behandlung mit Säure entweichenden Dämpfe der Osmiumsäure fängt man entweder in einer abgekühlten Vorlage auf

oder man führt diese Operation unter einem gut ziehenden Rauchfange auf, um der schädlichen Einwirkung der Osmiumsäure-Dämpfe zu entgehen.

Die wässrige Lösung wird mit dem doppelten Volumen Alkohol und dann mit Chlorkalium versetzt, so lange noch ein Niederschlag entsteht. Der letztere besteht hauptsächlich aus Kalium-Platinchlorid und Kalium-Iridiumchlorid nebst geringen Mengen der entsprechenden Doppelsalze von Rhodium und Palladium. Der mit Weingeist ausgewaschene und dann getrocknete Niederschlag wird mit dem gleichen Gewicht trocknem kohlensaurem Natron in einem Porzellantiegel gelinde erhitzt, bis die Masse ganz schwarz geworden ist. Hierdurch werden die Chlorverbindungen zerlegt; das Platin ist nun als Metall vorhanden, Rhodium und Iridium aber als Oxyde; da letztere in Säuren unlöslich sind, so kann das Platin sehr leicht davon getrennt werden. Durch Salmiak wird es dann aus der Lösung gefällt. Bei der ersten Fällung konnte der Salmiak nicht angewendet werden, weil dann bei der Behandlung mit kohlensaurem Natron Rhodium und Iridium gleichfalls zu Metall reducirt worden wären. Durch gelindes Erhitzen des Ammonium-Platinchlorids erhält man metallisches Platin in fein vertheiltem Zustande als Platinschwamm. Es sind dies pulverige oder schwammige, wenig zusammenhängende, graue, glanzlose Massen, die beim Reiben leicht Metallglanz annehmen. Nach Saint-Gilbes *) wird das Iridium durch essigsaure Alkalien aus sauren Auflösungen gefällt, während dadurch auf Platin keine Einwirkung ausgeübt wird. Diese Methode könnte daher auch benutzt werden, um iridiumfreies Platin darzustellen.

Döbereiner entdeckte an dem Platinschwamm eine sehr merkwürdige Eigenschaft. Er besitzt nämlich das Vermögen, auf seiner Oberfläche eine Vereinigung des Sauerstoffs und Wasserstoffs unter Feuererscheinung zu bewirken. In Folge dessen construirte Döbereiner seine bekannten Zündmaschinen, die aber in neuester Zeit fast ganz durch die bequemeren Streichhölzer verdrängt worden sind. Wirft man ein Stückchen Platinschwamm in eine Glasglocke, die mit Knallgas gefüllt ist, so findet die Explosion augenblicklich statt. Die Zündkraft des Platinschwammes wird durch verschiedene Gase und Dämpfe, wie Ammoniak, Schwefel- und Arsenwasserstoff, beeinträchtigt oder vernichtet. — Stickstoffoxyd und Ammoniak, gemischt mit Sauerstoff, werden durch Platinschwamm in Salpetersäure verwandelt; desgleichen die Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs in Ammoniak, sobald Wasserstoff zugegen ist. Damit aber diese Experimente sicher gelingen, gebraucht man die Vorsicht, den Platinschwamm bis auf 200° zu erhitzen. — In einem bei weitem höheren Grade als der Platinschwamm besitzt der Platinmohr oder das Platinschwarz **) die Eigenschaft, Sauerstoff zu absorbiren. Es ist dies gleichfalls höchst fein zertheiltes Platin von schwarzer Farbe. Dies wurde jedoch erst von Liebig erkannt; Davy, der den Platinmohr entdeckte, hielt ihn für salpetrig-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 144.

**) Davy: Phil. transact. 1822. Vol. II. Schweigger's Journ. Bd. XXXI. S. 340. Döbereiner: ebenda, Bd. XXXVIII. S. 322, Bd. LIV. S. 120 und 264, Bd. LXIII. S. 363. Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 193, Bd. LXXIV. S. 269. Berzelius: Annal. de Chim. et de Pharm. T. XVIII. p. 146. Schweigg. Journ. Bd. XXXIV. S. 81. Zeise: ebenda, Bd. XLVI. S. 326. Liebig's Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XVII. S. 101.

saures Platinoxyd, Döbereiner, Berzelius und Zeise sahen ihn als Platinsuboxyd an. In manchem Platinmohr ist nach Knop jedoch unzweifelhaft eine Aethylplatinverbindung vorhanden. Durch Druck nimmt das Platinschwarz gleichfalls Metallglanz und eine weiße Farbe an.

Um Platinmohr darzustellen, schmilzt man Platin mit Zink zusammen und behandelt die Legirung mit verdünnter Schwefelsäure, wodurch das Zink aufgelöst wird; oder man kocht schwefelsaures Platinoxyd mit Alkohol, wobei sich Kohlensäure entwickelt. Man kann auch das Platin aus seinen Lösungen durch metallisches Zink fällen. Von der kräftigsten Wirkung erhält man es aber nach Liebig auf folgende Weise. Man setzt zu einer heißen Lösung von Platinchlorür in kaustischem Kali unter fortwährendem Umrühren Alkohol. Hierbei findet eine sehr heftige Entwickelung von Kohlensäure statt und deshalb muß man dazu ein sehr geräumiges Gefäß verwenden, wenn man anders nicht Verluste durch Ueberſteigen erleiden will. Um den erhaltenen Niederschlag von allem Fremdartigen zu befreien, kocht man ihn nach einander mit Alkohol, Chlorwasserstoffsäure, Kali und zuletzt 4 bis 5 Mal mit Wasser aus. Die Entfernung des Alkohols ist dringend nothwendig, denn sonst geräth das Pulver beim Austrocknen ins Glühen, wodurch er seine merkwürdige katalytische Kraft gänzlich verliert. Sie geht gleichfalls verloren, wenn das Platinschwarz lange Zeit offen an der Luft liegt. Der Grund liegt darin, daß verschiedene Stoffe, die sich in der Luft befinden, condensirt werden, wodurch sich das Metall mit einem dünnen, meistens unsichtbaren Ueberzuge bedeckt. Die unmittelbare Berührung des Platinschwarzes mit der Luft ist in Folge dessen aufgehoben, so daß sich die katalytische Kraft nicht äußern kann. Sie wird wieder hergestellt durch Glühen, wenn die Stoffe, welche schädlich darauf eingewirkt haben, verbrennlich sind, oder anderen Falls durch Kochen mit Salpetersäure oder kaustischem Ammoniak. Das beste Wiederherstellungsmittel ist Kochen mit Schwefelsäure.

Je nach der Bereitungsart absorbirt das Platinschwarz mehr oder weniger Sauerstoff, so daß 1 Cubikzoll des ersteren 172,8 bis 253,44 Cubikzoll des letzteren aufnehmen kann. Hiernach wäre der Sauerstoff darin mit einer Kraft von 700 bis 1000 Atmosphären verdichtet. Das Platinschwarz wirkt in einem hohen Grade oxydirend. Betröpfelt man dasselbe mit Alkohol oder bringt man ihn in Dampfform mit dem Platinschwarz in Berührung, so wird der Alkohol in Essigsäure verwandelt. Hierbei ist die Einwirkung, besonders wenn man absoluten Alkohol nimmt, oft so energisch, daß der Platinmohr erglüht und der Alkohol sich entzündet. Döbereiner hat sogar vorgeschlagen, das Platinschwarz bei der Essigfabrikation zu verwenden. Um diesen Versuch im Kleinen zu zeigen, setzt man eine Schale mit Platinschwarz unter eine Glasglocke, deren Wände mit Alkohol befeuchtet worden sind. Ameisensäure und Oxalsäure werden dadurch in Kohlensäure, Wasserstoffgas in Wasser verwandelt; beim letzteren Versuch entzündet sich das Wasserstoffgas eben so wie beim Platinschwamm. Zu gleicher Zeit besitzt das Platinschwarz auch die Eigenschaft, mit einander verbundene Körper zu trennen. So wird z. B. Wasserstoffsuperoxyd dadurch zersetzt.

Eine fast eben so gute Contactsubstanz wie der Platinschwamm ist nach Stenhouse*) die platinisirte Kohle. Man bereitet sie durch Kochen von

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 380.

Holzkohlenstücken in einer Platinchloridlösung während 10 bis 15 Minuten und erhitzt dann die herausgenommenen Kohlenstücke in einem Platintiegel bis zur Rothgluth. Selbst wenn die Kohle 6 Proc. Platin aufgenommen hat, ist das äußere Ansehen derselben nicht verändert. Für die meisten Zwecke ist ein Platingehalt von 2 Proc. ausreichend. Sie zerstört sehr schnell Miasmata und verspricht deshalb gute Dienste bei bösartigen Wunden und Geschwüren leisten zu können. Mit 6 Proc. Platin imprägnirt, verbindet die Kohle schnell Sauerstoff und Wasserstoff, sie erglüht im Wasserstoffstrom und entzündet das Gas; schwach erwärmt wird sie auch in Leuchtgas glühend, aber ohne es zu zünden; in Alkohol und Holzgeistdampf wird sie rothglühend und wandelt den ersteren in Essigsäure um.

In zusammenhängenden Stücken wird das Platin aus dem Platinschwamm auf folgende Weise dargestellt. Zuerst zerreibt man den Platinschwamm entweder mit den Händen oder in einem hölzernen Mörser mit einem hölzernen Pistill zu einem feinen Pulver. Das Pulver rührt man mit Wasser an und bringt das Ganze auf ein feines Sieb. Die gröberen Theile, die hierbei zurückbleiben, werden von Neuem gepulvert, wobei alle diejenigen Stückchen, welche auch nur eine Spur von Metallglanz zeigen, sorgfältig ausgelesen werden, da sie sich nicht gut mit dem Uebrigen zusammenschweißen lassen. Ueberhaupt muß bei dieser Operation große Sorgfalt beobachtet werden, denn es genügt schon ein wenig Staub, um ein fehlerhaftes Metall zu erhalten. Um den Staub zu entfernen, schlemmt man das feine Pulver mehrmals mit Wasser. Die feuchte Masse bringt man dann in einen Messingcylinder, der unten luftdicht mit einer Schale aus Stahl verbunden ist; in den Cylinder paßt gleichfalls luftdicht ein Stahlstempel. Dieser wird mit Fett bestrichen und dann durch Hammerschläge oder eine Presse eingetrieben, so daß der Platinschwamm zu einer dichten Scheibe zusammengepreßt wird. Man beachtet hierbei aber sorgfältig, daß in dem Cylinder keine Luftblasen mit eingeschlossen bleiben. Die Scheibe erhitzt man dann in einer Muffel zum Weißglühen und bearbeitet sie auf einem Amboß mit einem Hammer. Wird dies mehrmals wiederholt, so erhält man endlich ein zusammenhängendes Metall, das sich schmieden und weiter verarbeiten läßt. — Durch Schmelzen kann man den Platinschwamm nicht in große, zusammenhängende Massen vereinigen, da ein Schmelzen des Platin nur vor dem Knallgasgebläse stattfindet. Kleine Mengen von Platin kann man auch zwischen den Kohlenspitzen einer starken galvanischen Batterie zusammenschmelzen. Mitunter geräth es hierbei ins Kochen und sprüht Funken umher, wie verbrennendes Eisen, jedoch in einem geringeren Grade. Bei Anwendung von 600 Bunsen'schen Elementen schmolz Despretz *) 200 Grm. ($13^{17}/_{25}$ Loth) Platinabfälle in einigen Minuten zusammen, wobei eine deutliche Verflüchtigung des Metalles bemerkt wurde. Wie Hare empfiehlt auch Despretz die Anwendung der Voltaischen Batterie zum Schmelzen des Platin im Großen. Leitet man Sauerstoffgas in eine Aetherflamme, so kann man ziemlich starken Platindraht zu erbsengroßen Kugeln zusammenschmelzen.

Die Verarbeitung des Platin bot lange Zeit sehr große Schwierigkeiten dar. Zuerst beschäftigte sich Achard damit, da er die Wichtigkeit dieses Metalles für den Chemiker erkannt hatte. Er stellte 1784 wohl den ersten Platintiegel dar.

*) Compt. rend. T. XXIX. p. 545.

Um ein schmiedbares Platin zu erhalten, schmolz er es mit Arsenik zusammen und entfernte letzteres durch Glühen. Derselben Methode bediente man sich seit 1787 in Paris, wo sich besonders Chabanneau und Jeanetty mit der Verarbeitung des Platins beschäftigten. In Deutschland gehörten zu Anfange unseres Jahrhunderts die Platingeräthschaften in den Laboratorien der Chemiker noch zu den größten Seltenheiten, da die Verarbeitung des Platin immer noch mit großen Schwierigkeiten verbunden war. Diese wurden endlich durch Wollaston weggeräumt; er hielt aber sein Verfahren, da es ihm eine reiche Einnahmequelle gewährte, lange Zeit geheim. Nachdem schon Barruel 1822 eine ähnliche Methode bekannt gemacht hatte, veröffentlichte auch endlich Wollaston 1828 sein Verfahren, wie wir es oben mitgetheilt haben.

Seit dieser Zeit ist das Platin besonders für den Chemiker von der größten Wichtigkeit, ja unentbehrlich geworden. Die gewaltigen Fortschritte, welche die Chemie in unseren Tagen gemacht hat, kommen zum großen Theil mit auf Rechnung dieses Metalles. Eine große Zahl von vortrefflichen Eigenschaften — die bedeutende Härte, die außerordentliche Dehnbarkeit, die Fähigkeit, durch viele Säuren nicht angegriffen zu werden, die Festigkeit und Unschmelzbarkeit macht dieses Metall ganz besonders geeignet zur Anfertigung der verschiedensten chemischen Geräthschaften, wie Tiegel, Schalen, Retorten &c. Ganz unverwundbar ist aber das Platin doch nicht und deshalb hat man beim Gebrauch dieser Geräthschaften im Laboratorium zahlreiche Vorsichtsmaßregeln anzuwenden. Beim Aufschließen der Mineralien darf man den Platintiegel nicht direct in Kohlenfeuer bringen, weil die in der Asche enthaltene Kieselsäure sehr leicht mit dem Platin Kieselplatin bildet, wodurch der Tiegel verdorben wird. Auch die Kohle selbst wirkt sehr nachtheilig auf das Platin. Deshalb setzt man den letzteren in einen Thontiegel, dessen Boden mit gebrannter Magnesia bedeckt ist, damit keine Berührung der beiden Tiegel mit einander stattfindet. Beim Erhitzen über der Spirituslampe muß man ein Ansetzen von Kohle an den Tiegel sorgfältig vermeiden, weil sonst leicht Kohlenplatin entsteht und die Oberfläche rauh wird. Metalle, welche leicht schmelzen oder Gemenge, aus welchen solche Metalle leicht reducirt werden, darf man in Platintiegeln nicht erhitzen, weil sich das Platin sehr leicht mit diesen Metallen legirt. Ferner wird der Tiegel verdorben durch Substanzen, welche beim Glühen Chlor, Brom, Jod, Schwefel und Phosphor entwickeln; auch kaustische Alkalien und Salpeter darf man in Platintiegeln nicht schmelzen. Will man einen Platintiegel von fest anhängenden Unreinigkeiten, die sich durch die gebräuchlichsten Säuren nicht entfernen lassen, reinigen, so bestreicht man die verunreinigten Stellen mit einem Gemenge aus gleichen Theilen gepulverten Borax und Weinsteinsalz und erhitzt den Tiegel bis zum Schmelzen des Gemenges. Durch verdünnte Schwefelsäure löst man die geschmolzene Masse auf. Auch kann man in dem zu reinigenden Tiegel saures schwefelsaures Kali schmelzen und dieses dann in Wasser auflösen.

In einem bei weitem größeren Maßstabe aber wird das Platin zu industriellen Zwecken verarbeitet. Wichtige Dienste hat es in der Schwefelsäurefabrikation geleistet, bei der Concentration der Schwefelsäure, die in großen Destillationsgefäßen aus Platin ausgeführt wird; eben so verwendet man dergleichen große Auflösungsgefäße bei der Scheidung des Silbers. Sonst wurden in Rußland Münzen aus Platin geprägt, seitdem aber die Anforderungen der Industrie sich

gesteigert haben, hat man das Ausmünzen des Platin unterlassen. Wegen der Kostbarkeit dieses Metalles hat man versucht, dasselbe durch andere Metalle zu ersetzen, die auf galvanischem Wege mit einem Ueberzuge von Platin versehen oder mit Platin plattirt worden sind. Für das Platiniren eiserner und kupferner Geräthschaften hat sich Jewrimoff in Petersburg ein Patent geben lassen. Nach diesem verwandelt man 100 Th. Platin in vorsichtig eingetrocknetes Platinchlorid, löst dasselbe in Wasser, setzt 100 Th. Aetzkali hinzu und übergießt den hierdurch entstandenen Niederschlag mit einer Lösung von 200 Th. Oxalsäure, erhitzt, filtrirt und fügt zur Lösung 300 Th. Aetzkalilauge. Diese Lösung dient zur galvanischen Verplatinirung zwischen den Polen der Batterie; das weitere Verfahren ist das gewöhnliche. Böttger bemerkt hierzu, daß man mit einer mäßig starken Batterie die genannten zwei Metalle mit Platin überziehen kann, wenn man nur die mit der Kathode verbundenen Gegenstände von Zeit zu Zeit aus dem Bade entfernt, mit Schlämmkreide putzt und immer wieder von Neuem dem Strome aussetzt. Lanaux und Roseleur empfehlen zum Verplatiniren der Metalle folgende Methode: 750 Gramm (1 Pfund $19^1/_3$ Loth) phosphorsaures Natron und 400 Grm. ($27^1/_3$ Loth) pyrophosphorsaures Natron werden in 15 Liter ($13^1/_{10}$ Quart) Wasser gelöst; hierzu setzt man ein Gemisch, welches man erhält, indem man 15 Grm. ($4^1/_{10}$ Quentchen) möglichst neutrales Platinchlorid in 200 Grm. ($13^3/_5$ Loth) destillirten Wassers löst und mit 160 Grm. ($10^{19}/_{20}$ Loth) phosphorsaurem Ammoniak fällt, und kocht das Ganze 4 Stunden lang. Es entweicht hierbei Ammoniak, die vorher basische Flüssigkeit wird sauer, verliert ihre gelbe Farbe und ist nun zum Verplatiniren geeignet. Der Platinniederschlag kann ziemlich stark erhalten werden und fällt bei einem nicht zu starken galvanischen Strom schön weiß aus. Wird das Bad bei längerem Gebrauch zu stark sauer, so kann man durch kohlensaures Natron die Säure etwas abstumpfen.

Ueber das Plattiren der Metalle mit Platin hat Bromeis *) einige Erfahrungen bekannt gemacht. Durch Löthen kann das Platin mit anderen Metallen nicht verbunden werden, theils weil das Loth nur schwierig an allen Stellen bindet, theils weil es in das Platin eindringt. Mit Silber kann eine dauerhafte Verbindung des Platin durch Walzen erzielt werden; das Silber muß aber eine reine metallische Oberfläche besitzen, die mittelst eines Schabeeisens hergestellt wird. Bei Messing und Kupfer versilbert oder vergoldet man entweder die Oberfläche oder man schweißt das Platinblech mittelst Platinschwamm an. Im letzteren Falle bestreut man die, mit Schwefelsäure abgebeizte und mit feinem Sand gescheuerte, Metalloberfläche mit einer dichten Lage von feingeriebenem Platinschwamm und legt darauf, je nach der gewünschten Stärke der Plattirung, 2 bis 5 völlig gereinigte Platinfolien. Die oberste greift über die übrigen, so wie auch über die Unterlage, und wird um den Rand der letzteren umgebogen. Um schädliche Verunreinigungen abzuhalten, umgiebt man das Ganze mit einem dünnen und, damit es nicht selbst anhaftet, ungereinigten Kupferblech, macht dann das Packet glühend und läßt es durch Walzen gehen. Das Ausglühen muß während des Auswalzens mehrfach wiederholt werden, wobei man aber die Kupferhülle entfernt.

Solche Bleche widerstehen nach Bromeis dem Angriff starker Säuren,

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXVI. S. 283.

selbst wenn der Platinüberzug nur $^1/_{3000}$ Linie dick ist. Durch wiederholtes Glühen blättert sich der Ueberzug nach und nach ab, weil das unedle Metall mit der Zeit durchbrennt. Deshalb widerstehen Bleche, die auf beiden Seiten mit Platin platirt sind oder deren Unterlage aus Silber besteht, länger der Einwirkung der Hitze. Hiernach eignen sich dergleichen Bleche besonders für Abdampfschalen, die nicht bis zum Glühen erhitzt werden.

Das Platin in zusammenhängenden Massen besitzt eine grauweiße Farbe und einen starken Glanz, der aber doch dem des Silbers bedeutend nachsteht. Ist es vollkommen rein, so läßt es sich wie Gold und Silber zu sehr dünnen Blättchen ausschlagen und zu sehr feinem Draht ausziehen; es ist dann bedeutend weicher wie Silber, so daß es sich mit einer Scheere schneiden läßt. Durch geringe Beimengungen aber werden diese Eigenschaften sehr beeinträchtigt. Gewöhnlich enthält das Platin kleine Mengen von Iridium, die das Platin aber dauerhafter und härter machen. Das im Handel vorkommende Platin läßt sich für sich zu einem Draht von $^1/_{1940}$ Zoll Dicke ausziehen. Der Draht erlangt eine noch weit größere Feinheit (bis zu $^1/_{5000}$ oder gar $^1/_{30000}$ Zoll Durchmesser), wenn man ihn mit Silber überzieht und nun durch die Drahtstrecke gehen läßt. Hat man die gewünschte Feinheit erlangt, so entfernt man das Silber durch Auflösen in Salpetersäure. Das Platin hat fast dieselbe Festigkeit wie das Eisen, durch geringe Mengen von Iridium wird diese aber beeinträchtigt, während dadurch die Härte über die des Kupfers gesteigert wird.

Das specifische Gewicht des gehämmerten Platin ist = 21,5, des fein zertheilten Platin = 15,78 bis 17,572. Die specifische Wärme ist nach Regnault = 0,03243 und nach Dulong und Petit = 0,0314. Nach Lavoisier und Laplace dehnt sich das Platin bei seiner Erwärmung von 0 bis 100° um $^1/_{1167}$, nach Troughton um $^1/_{1008}$ und nach Dulong und Petit um $^2/_{1131}$ seiner Länge bei 0° aus.

Für sich oxydirt sich das Platin bei keiner Temperatur an der Luft. Durch die meisten Säuren wird es nicht angegriffen. Chlorwasserstoffsäure, concentrirte Schwefelsäure und Salpetersäure üben darauf keine Wirkung aus; von der letzten aber wird das Platin aufgelöst, wenn es mit Silber legirt ist. Das eigentliche Auflösungsmittel für Platin ist das Königswasser, oder vielmehr das Chlor, welches sich daraus entwickelt. Ueberhaupt wird das Platin von den Salzbildern oder von Flüssigkeiten, die diese entwickeln, angegriffen. In der Rothglühhitze wird das Platin durch kaustische Alkalien, besonders Lithion oxydirt; eine Mischung von salpetersaurem und kaustischem Kali greift das Platin heftiger an, als Kalihydrat allein. Das gehämmerte Platin widersteht der Einwirkung von Schwefel, Phosphor und Arsenik längere Zeit, mit dem feinzertheilten Platin verbinden sich diese Körper jedoch sehr leicht zu schmelzbaren und spröden Verbindungen. Durch eine Mischung von Kieselsäure und Kohle wird das Platin brechend.

Das gewalzte oder gehämmerte Platin, so wie Platindraht üben gleichfalls eine katalytische Wirkung aus, jedoch nicht bei gewöhnlicher Temperatur, sondern nur erst, wenn sie bis auf 200° erhitzt worden sind. Diese Eigenschaft hat Davy zur Construction der nach ihm benannten Glühlampe (s. d. Art. Verbrennung) benutzt.

Bis jetzt kennt man mit Sicherheit zwei Verbindungen des Platin mit

Sauerstoff *). Das Platinoxydul (PtO) erhält man als ein schwarzes Pulver, wenn man Platinchlorür durch kaustisches Kali zersetzt. Es ist das Hydrat; in der Hitze läßt es zuerst das Wasser, dann aber auch den Sauerstoff fahren. Das Hydrat löst sich in Säuren. Das Platinoxydul geht mit den Alkalien Verbindungen ein. — Das Platinoxyd (PtO^2) ist im wasserfreien Zustande nur schwierig darzustellen. Wenn man salpetersaures Platinoxyd mit halb so viel Kali als zur vollständigen Zersetzung erforderlich ist, zusammen bringt, so scheidet sich ein voluminöser Niederschlag, Platinoxydhydrat ($PtO + 2HO$) aus. Setzt man mehr Kali hinzu, so geht dieses mit dem Niederschlage eine Verbindung ein. Leichter kann man das Oxyd auf folgende Weise darstellen. Man versetzt eine Lösung von Platinchlorid mit einem großen Ueberschuß von Kali: zuerst fällt ein gelbes Doppelsalz nieder, das sich aber beim Erwärmen auflöst. Uebersättigt man die Lösung mit Eisigsäure, so schlägt sich Platinoxydhydrat nieder. Dieses verliert bei mäßiger Wärme das Wasser und wird schwarz. Bei stärkerer Hitze giebt das Oxyd seinen Sauerstoff ganz ab. Das Hydrat löst sich in Säuren, das schwarze Oxyd aber nicht. Zu starken Basen hat das Hydrat eine große Verwandtschaft; es geht mit vielen derselben unlösliche Verbindungen ein. — Wenn man eine Lösung des schwefelsauren Platinoxydes mit Ammoniak versetzt, so fällt ein brauner Niederschlag zu Boden, der mit einer verdünnten Natronlauge behandelt Platinoxyd-Ammoniak, Knallplatin oder platinsaures Ammoniak liefert. Bei 214° C. explodirt diese Verbindung mit eben derselben Heftigkeit wie Knallgold, aber nicht durch Stoß oder Schlag. — Die Existenz einer dritten Sauerstoffverbindung, des Platinsesquioxydes ($Pt^2 O^3$) ist zweifelhaft.

Das Platinoxydul sowohl wie das Oxyd sind nur schwache Basen. Beide bilden zwar mit starken Säuren Salze, aber diese werden leicht in der Hitze zu metallischem Platin zersetzt. Die Platinoxydulsalze bieten ein sehr geringes Interesse, weshalb sie auch wenig untersucht sind. Krystallisirt hat man bis jetzt nur das oxalsaure Platinoxydul dargestellt; es sind kleine Nadeln von kupferrother Farbe. — Die Platinoxydsalze besitzen eine gelbe oder rothe Farbe. Auch sie sind bis jetzt wenig untersucht.

Fein zertheiltes Platin verbindet sich direct mit Schwefel zu einer Verbindung, die dem Platinoxydul entspricht; die dem Oxyd entsprechende Verbindung kann nur auf nassem Wege dargestellt werden. — Die beiden Verbindungen des Platin mit dem Chlor entsprechen den beiden Sauerstoffverbindungen. Platinchlorür ($Pt\,Cl$) erhält man aus dem Chlorid, wenn man dieses in einem Oelbade bei 200° so lange erhitzt, bis die Chlorentwickelung aufhört. Es besitzt eine dunkelgrüne Farbe. Als einen graugrünen Niederschlag erhält man es, wenn man durch eine Platinchloridlösung schweflige Säure leitet. In Wasser ist das Chlorür unlöslich; in Chlorwasserstoffsäure aber ist es löslich. Diese Lösung wird durch Chlorkalium oder Chlorammonium nicht gefällt; dampft man sie aber damit ein, so erhält man schöne Krystalle der Doppelverbindungen $Pt\,Cl + K\,Cl$ oder $Pt\,Cl + NH^4\,Cl$. — Platinchlorid ($Pt\,Cl^2$) bildet sich, wenn man Platin in

*) Rep. f. d. Pharm. Bd. LXXIV. S. 43. Schweigger's Journ. Bd. LXIV S. 298, Bd. XIX. S. 94, Bd. XXXI. S. 340. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXVIII. S. 358, Bd. XLIV. S. 276. Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XI. p. 417, T. XXXI. p. 478.

Königswasser auflöst. Um den Ueberschuß der Säure zu entfernen, dampft man die Lösung bei mäßiger Wärme ein. Die trockne Masse besitzt eine rothbraune Farbe und löst sich mit rothgelber Farbe in Wasser und Alkohol. Ist die Farbe dunkler, so rührt sie von Chlorür her, das sich bei größerer Hitze bildet. Bei noch stärkerer Hitze bleibt metallisches Platin zurück. Diese Lösung dient dem Chemiker vielfach als Reagens. — Das Platinchlorid bildet mit vielen Metallchloriden Doppelsalze. Von diesen haben das Kaliumplatinchlorid ($PtCl^2 + KCl$) und das Ammoniumplatinchlorid ($PtCl^2 + NH^4Cl$) für die analytische Chemie durch ihre Schwerlöslichkeit in Wasser und ihre Unlöslichkeit in Alkohol eine große Wichtigkeit. Daher dient auch das Platinchlorid allgemein als Reagens auf Kali- und Ammoniaksalze. Auch in der organischen Chemie leistet das Platinchlorid vortreffliche Dienste bei Untersuchungen. Mit Chlornatrium bildet das Platinchlorid zwar gleichfalls ein Doppelsalz, aber dieses ist sehr leicht in Wasser und Alkohol löslich. Dampft man die Auflösung ab, so erhält man sehr schöne gelbe Krystalle ($PtCl^2 + NaCl + 6HO$). Auch die beiden anderen Doppelverbindungen krystallisiren in sehr schönen, orangegelben, regelmäßigen Octaëdern, wenn man sie in vielem heißen Wasser auflöst und die Lösungen freiwillig verdampfen läßt.— Mengt man diese Doppelverbindungen innig mit dem 2 bis 3fachen Gewicht Chloralkalien und erhitzt man das Gemenge, so erhält man daraus metallisches Platin in glänzenden, krystallinischen Blättern. Die Chlorverbindungen werden sehr leicht durch Wasser entfernt.

Durch die Einwirkung von Ammoniak auf Platinchlorür entsteht eine ganze Reihe von höchst interessanten Verbindungen, mit deren Studium sich besonders Magnus, Gros, Reiset, Peyrone, Raewsky, Gerhardt und Claus beschäftigt haben. Alle diese Verbindungen, so mannichfaltig sie auch sind, bestehen aus Stickstoff, Wasserstoff und Platin und werden sie im Allgemeinen mit dem Namen Platinbasen belegt. Diese bilden nun wieder eine ganze Reihe von Salzen, die man zur leichteren Unterscheidung nach ihren Entdeckern benennt. Ammoniak sowohl wie Platin können in diesen Verbindungen nicht nachgewiesen werden. Ueber die rationelle Zusammensetzung der Platinbasen, so wie deren Salze, sind jedoch die Chemiker noch nicht einig. Wir führen hier nur einige dieser Verbindungen an und verweisen hierbei auf die reichhaltige Literatur *).

Das grüne Salz von Magnus, einfach Chlorplatin-Ammoniak ($NH^3 + PtCl$) entsteht, wenn man kaustisches Ammoniak zu einer Lösung von Platinchlorür in Chlorwasserstoffsäure setzt. Es schießt daraus in grünen Nadeln an. Diese Verbindung ist sehr beständig; durch die stärksten Säuren wird sie kaum angegriffen und nur wenn man sie lange Zeit damit erhitzt, kann das Ammoniak davon getrennt werden. Bei einer Temperatur von 300° zersetzt sich diese Verbindung und es bleibt metallisches

*) Magnus: Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. XIV. S. 242. Gros, Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXVII. S. 241. Reiset, eben da, Bd. XXXVI. S. 111 und Bd. LII. S. 262. Peyrone, eben da, Bd. LI. S. 1. und Bd. LV. S. 205. Raewsky, eben da, Bd. LXIV. S. 309 und Bd. LXVIII. S. 315. Berzelius, Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. XXXVIII. S. 358. Gerhardt, Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. LXXVI. S. 307. Compt. rend. T. XXXI. p. 241. Compt. rend. par Laurent et Gerhardt 1850. p. 273. Bucton, Quart. Journ. of the Chem. soc. Vol. V. p. 213 und Vol. VII. p. 22. Pharm. Centralbl. 1853. S. 218. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXIV. S. 65. Claus, Bull. de l'Acad. de St. Petersb. Classe phys. math. T. XIII. p. 97.

Platin zurück. — Behandelt man das grüne Salz längere Zeit kochend mit einer concentrirten Lösung eines Ammoniaksalzes, so scheiden sich beim Erkalten schöne, gelbe Krystallflitter ab. Man erhält noch eine dritte isomere Modification von rother Farbe, wenn man zu einer siedenden, mit kohlensaurem Ammoniak neutralisirten salzsauren Platinchlorürlösung während des Siedens tropfenweise kohlensaures Ammoniak hinzufügt. Die Farbe der Lösung verändert sich hierbei nicht; aber nach dem Erkalten setzen sich daraus kleine, granatrothe sechsseitige Tafeln ab, welche dieselbe Zusammensetzung wie das gelbe Salz haben.

Behandelt man das Magnus'sche Salz mit concentrirtem kaustischen Ammoniak, so setzen sich daraus während des Erkaltens große prismatische Krystalle von schwach gelblicher Farbe ab von der Formel $PtCl . N^2H^6 + HO$. Gießt man in eine heiße Auflösung derselben eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, so fällt alles Chlor mit dem Silber nieder und dampft man dann das Filtrat ab, so erhält man weiße Krystalle von der Formel $(PtO . N^2H^6) + NO^5$. Nimmt man statt des salpetersauren Silberoxydes das schwefelsaure, so erhält man gleichfalls ein schwefelsaures Salz $(PtO . N^2H^6) + SO^3$, aus dem man die Schwefelsäure durch Barytwasser entfernen kann. Die von dem schwefelsauren Baryt abfiltrirte Flüssigkeit reagirt stark alkalisch und wenn man sie unter der Luftpumpe abdampft, erhält man weiße Nadeln von der Formel $(PtO . N^2H^6) + HO$. Es ist dies das Ammon-Platammoniumoxydhydrat oder die erste Reiset'sche Platinbase, die sogar das Ammoniak aus seinen Salzen austreibt und sich direct mit Säuren, sogar mit der Kohlensäure verbindet. Erhitzt man diese Platinbase bis auf 110°, so geht Wasser und Ammoniak fort; es bildet sich dadurch eine neue Verbindung $(PtO . NH^3)$, die in Wasser unlöslich ist. Dies ist die zweite Reiset'sche Platinbase, das Platammonium, das sich gleichfalls mit den Säuren und Salzbildern direct verbindet. Die Salze der einen Reihe verwandeln sich sehr leicht in die der anderen; die der ersten Reihe verlieren in der Hitze Ammoniak und bilden dann Salze der zweiten Reihe; diese nehmen, wenn man sie in einem Ueberschuß von Aetzammoniak auflöst, wiederum davon auf und bilden dann Salze der ersten Reihe.

Kocht man die Chlorverbindung der ersten Reiset'schen Platinbase $(PtCl + N^2H^6)$ mit schwacher Salpetersäure, so entwickeln sich hierbei röthliche Dämpfe und nach dem Erkalten setzt sich eine Substanz ab von der Formel $(PtCl . N^2H^6) O + NO^5$. Man kann diese Verbindung ansehen als ein salpetersaures Salz einer Base von der Formel $(PtCl . N^2H^6) O$. Es ist die Platinbase der Gros'schen Salze, das Ammon-Chlorplatammoniumoxyd. Das Chlor gehört hier wesentlich mit zur Base, da es auf die gewöhnliche Weise darin nicht nachgewiesen werden kann.

Kocht man einfach Chlorplatin-Ammoniak mit einem großen Ueberschuß, so scheiden sich beim Abdampfen nach und nach zwei krystallinische Verbindungen ab. Die eine $(Pt^2ClO^5 . N^4H^{12}) + 2NO^5$ bildet kleine glänzende Nadeln, die wenig löslich in Wasser sind und beim Erwärmen explodiren. Sie enthalten eine vierte Platinbase von sehr complicirter Zusammensetzung $(Pt^2ClO^5 . N^4H^{12})$, die erste Raewsky'sche Platinbase, die mit der Kohlensäure, Oxalsäure, Phosphorsäure und Chromsäure krystallinische Verbindungen liefert. Die andere enthält eine fünfte Base von folgender Zusammensetzung $(Pt^2Cl\,2\,O^4 . N^4H^{12})$; es ist dies die zweite Raewsky'sche Platinbase.

Mit Brom kennt man nur eine Verbindung $PtBr^2$ *). Mit Jod verbindet sich das Platin nicht direct. Durch Zersetzung der Chlorverbindungen mittelst Jodkalium stellt man die entsprechenden Jodverbindungen dar **). Von den Cyanverbindungen ***) kennt man nur das Platincyanür $PtCy$ im isolirten Zustande; auf die Existenz eines Sesquicyanürs Pt^2Cy^3 und des Cyanids $PtCy^3$ schließt man aus Verbindungen. Außerdem existiren eine große Zahl von Doppelverbindungen, mit deren Studium sich namentlich Gmelin, Döbereiner, Knop, Schnedermann ꝛc. beschäftigt haben. Das Platincyanür erhält man durch Erhitzen des Kalium-Platincyanür und Quecksilberchlorid; das Chlorkalium zieht man durch Wasser aus und das Quecksilberchlorür entfernt man durch Sublimation. Das Platincyanür bildet eine grüngelbliche Masse, die in Wasser, Säuren und Alkalien unlöslich ist. Das Platincyanür geht mit anderen Cyanüren Verbindungen ein, von denen die mit den Cyanüren der Alkalien und der alkalischen Erden sehr schöne Krystalle mit prachtvollem Dichroismus bilden. Kalium-Platincyanür ($KCy + PtCy + 3HO$) wurde zuerst von Gmelin dargestellt, durch Schmelzen von Cyankalium oder Cyaneisenkalium mit fein zertheiltem Platin. Aus der Lösung schießt zuerst unzersetztes Cyaneisenkalium an, und später dann das Platincyanür in langen Nadeln oder rhombischen Säulen. Bei durchfallendem und quer auf die Säulenaxe fallendem Lichte erscheinen sie gelb, fällt aber das Licht mehr in der Richtung der Axe, lebhaft blau. An der Luft verwittern die Krystalle, sie werden undurchsichtig und rosenroth. Bei 100° verlieren sie das Wasser und in der Hitze zersetzen sie sich. Die Lösung giebt mit vielen Metallsalzen Niederschläge, in denen das Kalium durch das betreffende Metall ersetzt wird. — Cyankalium wirkt auf Platintiegel sehr zerstörend. Dies ist sehr zu beachten, da das Cyankalium seine Hauptanwendung in den chemischen Laboratorien bei der Reduction der Metalle findet, deren Zusammenbringen mit Platin man an sich schon zu vermeiden hat. Schmilzt man Cyankalium mit Platin, so löst es rasch von letzterem etwas auf, wenn auch nur geringe Mengen, die doch eine wesentliche Veränderung in den Eigenschaften des Cyankaliums hervorbringen. Beim Erstarren folgen prächtige Farbenerscheinungen auf einander: durch weiß, mattgrün und gelb in mennigroth, welches bei fernerer Abkühlung vollkommen zinnoberroth wird. Vogel empfiehlt ****) dieses Experiment als Vorlesungsversuch, da die Farbennüancen außerordentlich rein und feurig sind, sobald nicht durch zu große Hitze bereits Zersetzung eingetreten ist. Beim Erwärmen der Masse treten die Farben in umgekehrter Ordnung auf und das Experiment läßt sich beliebig oft wiederholen. Weiter zeigt sich beim Schmelzen noch eine glänzende Phosphorescenz. Erhitzt man ein mit Cyankalium überzogenes Platinblech rasch durch die Löthrohrflamme, so bemerkt man um dieselbe herum eine metallischglänzende grüne

*) Balard, Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. VIII. S. 333. Bonsdorff, eben da, Bd. XIX. S. 343.

**) Journ. de Chim. méd. T. VIII. p. 705. Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. XXXIII. S. 97. Berzelius, Jahresber. Bd. XXIV. S. 238. Annal. de Chim. et de Phys. [3] T. XI. p. 417.

***) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XLIII. S. 111, Bd. LXIII. S. 164, Bd. LXIV. S. 300. Bd. LXV. S. 249, Bd. LXX. S. 300. Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XI. p. 417. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 385.

****) N. Rep. f. d. Pharm. Bd. III. S. 97.

Phosphorescenz. Schmilzt man Blutlaugensalz und kohlensaures Kali auf Platinblech, so überzieht sich dieses mit einer fest anhaftenden Kruste von metallischem Eisen, das man nach gehörigem Reinigen durch Erhitzen ausgezeichnet schön irisirend anlaufen lassen kann. Das Matte dieses Ueberzuges verleiht den Gegenständen ein besonders elegantes Ansehen und daher ist Vogel der Ansicht, daß dieses Verfahren bei der Verarbeitung des Platin zu Bijouterien vortheilhaft verwendet werden könnte.

Mit der Darstellung der Platinsulfocyanverbindungen hat sich Burton *) beschäftigt.

Das Platin schmilzt mit vielen Metallen leicht zusammen; oft tritt hierbei eine sehr intensive Feuererscheinung auf, besonders beim Blei. Rollt man Bleche von Blei und Platin zusammen und erhitzt man sie an dem einen Ende bis zum Glühen, so verbreitet sich letzteres in dem Augenblick, wo sich beide Metalle mit einander verbinden, durch die ganze Masse und diese wird umhergeschleudert. Mit Iridium bildet das Platin eine vollkommen geschmeidige Legirung, wenn ersteres nur bis zu einigen Procenten darin enthalten ist. Die Legirung ist viel härter wie das reine Platin und widersteht länger der Einwirkung des Feuers und der Reagentien, weshalb sie sich ganz besonders zur Verfertigung von chemischen Geräthschaften eignet. Mehr Iridium macht das Platin brüchig. — Dem Kupfer giebt $^1/_{26}$ Platin eine rosenrothe Farbe und einen feinkörnigen Bruch. Eine Legirung aus 16 Th. Kupfer, 1 Th. Platin und 1 Th. Zink soll nach Cooper dem 16karäthigen Golde sehr ähnlich sein. — Die Legirung mit Nickel nimmt eine schöne Politur an. — Die Legirung mit Silber ist weniger geschmeidig als das Silber selbst.

Das Platin ist sehr leicht von den übrigen Metallen dadurch zu unterscheiden, daß es in allen Säuren mit Ausnahme des Königswassers unlöslich ist. Jedoch ist hierbei zu bedenken, daß Platin in Verbindung mit Metallen, die in Salpetersäure löslich sind, gleichfalls von dieser Säure in beträchtlichen Mengen aufgelöst wird. Ferner wird es daran erkannt, daß es selbst aus sauren Lösungen durch Schwefelwasserstoffwasser gefällt wird. Am charakteristischsten ist der gelbe, krystallinische Niederschlag, der durch Chlorkalium oder Chlorammonium in Platinchloridlösung hervorgebracht wird. Dieser Niederschlag dient auch dazu, das Platin quantitativ zu bestimmen. Entweder trocknet man ihn vorsichtig bei 100° C. und berechnet die darin enthaltene Platinmenge oder man glüht denselben, wodurch das Platin metallisch abgeschieden wird. Beim Glühen des Ammoniumplatinchlorids bleibt das Platin rein zurück; aber hierbei sind Verluste unvermeidlich, da stets etwas von dem feinzertheilten Platin durch die entweichenden Dämpfe mit fortgerissen wird. Beim Glühen des Kaliumplatinchlorids hat man dies nicht zu befürchten, aber hier bleibt mit dem Platin auch Chlorkalium zurück, das durch Auflösen in Wasser entfernt wird. W. B.

Pneumatik, s. Mechanik.

Polareis, s. Eis.

Polarisation des Lichtes bezeichnet eine Eigenthümlichkeit der Lichtstrahlen im Gegensatze zu den natürlichen Lichtstrahlen, welche ringsherum dieselben

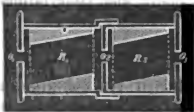
*) Quart. Journ. of the Chem. Soc. Vol. VII. p. 22. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXIV. S. 65.

Eigenschaften zeigen, unter gewissen Umständen eine Seitlichkeit zu besitzen, d. h. mit verschiedenen Eigenschaften begabte Seiten zu haben.

Huyghens war der Erste, welcher eine Erscheinung beobachtete, die für eine derartige Eigenthümlichkeit sprach; und um so mehr ist er als Entdecker der Polarisation anzusehen, als er mit voller Klarheit sich darüber ausspricht *), daß er eine merkwürdige Erscheinung beobachtet habe, deren Entstehungsweise er freilich nicht genügend erkenne. Die merkwürdige Erscheinung ist diejenige, welche im Art. Brechung des Lichtes, Bd. I. S. 894 unter Nr. 5 angeführt ist. Um den Vorgang möglichst deutlich zu machen und das Charakteristische möglichst hervorzuheben, dürfte es indessen zweckmäßig sein, hier nochmals näher darauf einzugehen. Wegen so mancher Ausdrücke und Bezeichnungen giebt der angezogene Artikel, namentlich von Seite 892 an, näheren Aufschluß.

Ein Rhomboëder von isländischem Kalkspathe werde in einer cylindrischen Metallhülse mittelst Kork so befestigt, daß zwei einander gegenüberstehende Flächen senkrecht auf die Axe der Hülse zu stehen kommen. Die Hülse sei an dem einen Ende durch eine Metallplatte geschlossen, welche in ihrer Mitte eine kreisrunde Oeffnung hat, deren Durchmesser etwa ein Zehntel der Dicke des Rhomboëders ausmacht. Lassen wir nun auf diese Oeffnung ein der Axe der Hülse paralleles Lichtbündel fallen und fangen das auf der anderen Seite austretende Licht auf einem zur Axe der Hülse senkrecht stehenden Schirme auf, so erblicken wir auf diesem zwei gleich helle Bilder der Oeffnung, welche mit dieser gleiche Größe und die Farbe des auffallenden Lichtes haben. Das eine Bild liegt in der verlängerten Axe der Hülse, das andere liegt seitwärts in der geraden Linie, in welcher der Schirm von einer Ebene geschnitten wird, die durch die Axe der Hülse geht und mit den kurzen Diagonalen der zur Axe senkrecht stehenden Rhomboëderflächen parallel läuft. Dreht man die Hülse um ihre Axe, so bewegt sich das zweite Bild um das erste in einem Kreise, in dessen Centrum eben das erste Bild steht. Die gegenseitige Lage und die Beziehung zum Rhomboëder bleibt die vorher angegebene. Die Ebene, in welcher diese beiden Bilder oder vielmehr die beiden dieselben erzeugenden Strahlencylinder liegen, heißt der Hauptschnitt des Krystalles.

Jetzt wollen wir die beiden aus dem Rhomboëder austretenden Strahlenbündel, ehe dieselben auf den Schirm treffen, auf ein zweites Kalkspathrhomboëder fallen lassen, welches mit dem ersten gleich dick ist und sich eben so in einer Hülse befindet, nur mit dem Unterschiede, daß diese zweite Hülse auf oder in die erste auf der Seite, an welcher die Strahlen austreten, gesteckt und auf der ersten um seine Axe gedreht werden kann. Die zweite Hülse habe an ihrer Vorderseite eben so wie die erste eine Platte mit einer eben so großen Oeffnung in der Mitte. Nebenstehende Zeichnung wird die Zusammenstellung am anschaulichsten machen. R_1 und R_2 sind die beiden Rhomboëder; o_1 und o_2 die beiden Oeffnungen. Es ist klar, daß der in o_2 eintretende Strahl nur der in der Axe der Hülse lie-



*) Traité de la lumière. p. 88. Vergl. Dove, Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853. S. 95.

gende sein kann, der andere aber von der Platte, in welcher die Oeffnung o_2 sich befindet, aufgehalten wird. Nun könnte man erwarten, daß dieser durch R_2 hindurchgehende Strahl ganz dieselben Erscheinungen zeigen werde, wie der durch R_1 gegangene, und insofern tritt dies auch ein, als wieder zwei in Bezug auf Gestalt und Lage den durch R_1 hervorgerufenen gleiche Bilder entstehen; indessen ist darin ein Unterschied, daß die Intensitätsverhältnisse eine Aenderung erlitten haben. Dies wird am klarsten, wenn man auf die zweite Hülse am austretenden Ende noch eine Platte anschraubt, welche eine in der Axe der Hülsen liegende Oeffnung o_3 hat, die den Oeffnungen o_1 und o_2 gleich ist, so daß durch o_3 nur der eine, nämlich der in der Axe liegende, Strahl austreten kann. Stehen die beiden Rhomboëder R_1 und R_2 so, daß die kurzen Diagonalen der auf der Hülsenaxe senkrechten Rhomboëderflächen parallel laufen, so ist das auf dem Schirme aufgefangene Bild der Oeffnung nicht merklich matter, als nach dem einfachen Durchgange des Lichtes durch R_1; dreht man aber die zweite Hülse aus der angegebenen Lage heraus, wobei es gleichgültig ist, nach welcher Seite hin dies geschieht, so nimmt die Helligkeit des Bildes ab, und zwar um so mehr, je weiter man dreht, bis die Helligkeit ein Minimum erreicht, so daß das Bild der Oeffnung ganz verschwindet, sobald die Hauptschnitte der beiden Rhomboëder sich rechtwinkelig kreuzen. Dreht man noch weiter, so erscheint das Bild wieder und wird immer heller, je näher die Hauptschnitte dem Parallelismus kommen; fallen dieselben zusammen, so ist die Helligkeit wieder das Maximum. Bei fortgesetzter Drehung stellen sich dieselben Erscheinungen wieder ein, wie bei der eben beschriebenen um 180°.

Die Intensität des aus dem ersten Rhomboëder ausgetretenen Lichtcylinders hat also durch den Durchgang durch das zweite Rhomboëder eine Aenderung erfahren, und zwar zeigt sich hierbei eine Abhängigkeit von der Lage des Hauptschnittes des zweiten Rhomboëders zu irgend einer in dem Lichtcylinder zu denkenden festen Ebene, als welche man am bequemsten diejenige nimmt, welche durch die Axe des Lichtcylinders geht und mit dem Hauptschnitte des ersten Rhomboëders parallel läuft. Auf diese Ebene bezogen ist die Intensität ein Maximum, wenn dieselbe mit dem Hauptschnitte des zweiten Rhomboëders zusammenfällt; ein Minimum, wenn dieselbe diesen Hauptschnitt rechtwinkelig kreuzt; die Intensität ist um so bedeutender geschwächt, je mehr die gegenseitige Lage sich der letzt bezeichneten nähert. Gleichen Winkeln zwischen dem Hauptschnitte des zweiten Rhomboëders und jener Ebene kommen gleiche Intensitäten zu, ohne Rücksicht darauf, auf welcher Seite der Ebene der Hauptschnitt liegt.

Dies ist das Charakteristische der von Huyghens beobachteten Erscheinung, die ihm räthselhaft blieb; Newton *) kam hierbei auf den Gedanken, daß die verschiedenen Seiten des Lichtstrahles verschiedene Eigenschaften besitzen möchten, und in der That ist die Erscheinung der Art, daß man dem Lichtbündel eine Seitlichkeit zuschreiben muß, d. h. daß man rechts und links, oben und unten in demselben zu unterscheiden hat, während bei einem natürlichen Lichtbündel nach allen Seiten hin dasselbe gleichartig erscheint.

Diese Seitlichkeit, welche ein Lichtbündel unter gewissen Umständen zeigt, ist es nun, was man die Polarisation des Lichtes nennt. Ein

*) Optice, lib. III. quaest. 18.

so begabter Lichtstrahl heißt ein **polarisirter**; die oben bezeichnete durch die Axe des Lichtstrahls mit dem Hauptschnitte des Rhomboëders parallel gedachte Ebene ist die sogenannte **Polarisationsebene**.

Das **Huyghens**'sche Phänomen blieb räthselhaft, bis 1808 **Malus** über die Doppelbrechung neue Untersuchungen anstellte *). Als eines Tages **Malus** in seiner Wohnung in der Rue d'Enfer sich anschickte, die von den Glasscheiben in den Fenstern des Luxembourg zurückgeworfenen Sonnenstrahlen mit einem doppeltbrechenden Krystalle zu untersuchen, gewahrte er statt zweier leuchtenden Bilder, die er zu sehen erwartete, nur eins, und zwar je nach der Lage, welche der Krystall vor seinem Auge hatte, entweder das ordentliche oder das außerordentliche Bild. Diese sonderbare Erscheinung setzte ihn in großes Erstaunen; er versuchte sie durch besondere Modificationen, welche das Sonnenlicht beim Durchgange durch die Atmosphäre hätte erhalten können, zu erklären. Da aber die Nacht eingetreten war, so ließ er das Licht einer Kerze unter einem Winkel von 36° auf die Oberfläche von Wasser fallen und zeigte durch Anwendung eines doppeltbrechenden Krystalls, daß das zurückgeworfene Licht polarisirt wäre, gerade so, als ob es aus einem Doppelspathe käme. Ein Versuch mit einem Glasspiegel, auf den er das Licht unter einem Winkel von 35° auffallen ließ, lieferte ihm dasselbe Resultat.

Jetzt war bewiesen, daß die doppelte Brechung nicht das einzige Mittel war, das Licht zu polarisiren, oder ihm die Eigenschaft zu nehmen, sich beim Durchgange durch den Doppelspath beständig in zwei Bündel zu spalten. Die Zurückwerfung von durchsichtigen Körpern besaß dieselbe Kraft, ohne daß sie ein Mensch jemals vermuthet hatte. **Malus** blieb dabei nicht stehen; er ließ gleichzeitig einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl auf die Oberfläche des Wassers fallen, und bemerkte, daß bei einer Neigung von 36° diese beiden Strahlen sich sehr verschieden verhielten.

Wenn der **ordentliche** Strahl eine theilweise Reflexion erlitt, so wurde der **außerordentliche** Strahl gar nicht zurückgeworfen, d. h. er ging ganz durch die Flüssigkeit; umgekehrt wenn die Stellung des Krystalls in Bezug auf die Ebene, in welcher die Zurückwerfung erfolgte, so beschaffen war, daß der **außerordentliche** Strahl zum Theil reflectirt wurde, so ging der **ordentliche** Strahl gänzlich durch.

Die Reflexionserscheinungen wurden also ein Mittel, um die in verschiedenem Sinne polarisirten Strahlen von einander zu unterscheiden. In jener Nacht, welche auf die zufällige Beobachtung des an den Fenstern des Luxembourg reflectirten Sonnenlichts folgte, schuf **Malus** einen der merkwürdigsten Zweige der neueren Optik, und erwarb sich ein unbestreitbares Recht auf einen unsterblichen Namen **).

Ein **unpolarisirter** oder **natürlicher** Strahl giebt bei senkrechtem Auffallen auf die Oberfläche eines Doppelspathes bei jeder Stellung des Doppelspathes zwei Bilder von gleicher Intensität; ein **polarisirter** Strahl giebt in solchem Falle zwei ungleiche helle Bilder und zwar an Intensität wechselnd,

*) Vergl. Art. **Brechung des Lichtes**, Bd. I. S. 893. Théorie de la double réfraction. Paris 1810.

) **Arago's sämmtliche Werke, deutsch von Hankel. Leipzig 1855. Bd. III. S. 114.

sobald der Doppelspath gedreht wird. Zeigt sich im letzteren Falle in zwei besonderen Lagen des Doppelspathes nur ein Bild, so heißt der Strahl vollständig polarisirt; treten aber bei der Drehung des Doppelspathes stets zwei Bilder auf, deren Intensitäten mit der Lage des zerlegenden Krystalles veränderlich sind, so ist der Strahl nur theilweise polarisirt. Der Winkel, unter welchem das Licht, welches durch Reflexion polarisirt wird, recht vollständig reflectirt und im anderen völlig ausgelöscht wird, heißt der Polarisationswinkel. Polarisationsebene ist dann — mit Rücksicht auf die bereits oben gemachte Feststellung, nach welcher sie dem Hauptschnitte parallel läuft — die Ebene, in welcher die Reflexion am vollständigsten ist, die also mit der Einfallsebene zusammenfällt, wobei wir nur bemerken wollen, daß man mit gleichem Rechte die darauf senkrecht stehende Ebene so hätte bezeichnen können.

Läßt man einen Lichtstrahl unter einem Winkel von 35° 25′ gegen die Fläche, also unter einem Einfallswinkel von 54° 35′, auf eine starke Glasplatte oder auf eine Schicht mehrerer an einander gelegter Glasscheiben — einen Glassatz — fallen, so wird ein Theil des Lichtes reflectirt, ein anderer Theil geht durch das Glas, wird gebrochen und tritt parallel dem einfallenden Strahle auf der anderen Seite wieder aus. Das reflectirte Licht ist polarisirt und zeigt seine Polarisation bei der Reflexion von einem zweiten Glassatze, indem es vollständig reflectirt wird, wenn es unter demselben Winkel zur Glasfläche auftrifft und die beiden Reflexionsebenen zusammenfallen, aber immer mehr verschwindet, unter einem je größeren Winkel sich die Reflexionsebenen schneiden, bis die Stellung beider Ebenen rechtwinkelig ist, wo das Verschwinden vollständig oder am stärksten sich markirt.

Ganz ähnlich verhält sich der gebrochene, auf der anderen Seite des ersten Glassatzes austretende, Theil des Lichtstrahles, wenn man denselben unter gleichem Winkel ebenfalls auf einen Glassatz fallen läßt, jedoch mit dem Unterschiede, daß beim Zusammenfallen der beiden Reflexionsebenen die Intensität des reflectirten Lichtes ein Minimum oder selbst Null ist, aber immer mehr wächst, je größer der Winkel wird, unter welchem sich beide Ebenen schneiden, bis bei rechtwinkeliger Stellung derselben die Intensität ihr Maximum erreicht. Der von dem ersten Glassatze reflectirte Strahl ist also gerade dem gebrochenen entgegengesetzt polarisirt.

Dasselbe zeigt sich an den beiden Glassätzen, auf welche der von dem ersten Glassatze reflectirte und gebrochene Theil des Lichtstrahles auffällt. Man kann auch von ihnen sagen, daß das auffallende Licht zum Theil reflectirt, zum Theil gebrochen wird; nur ist der gebrochene Theil um so geringer, je größer der reflectirte ist, und darin beruht eben die entgegengesetzte Polarisation *). Malus, Biot, Seebeck und Brewster haben diese Polarisirung unabhängig von einander entdeckt.

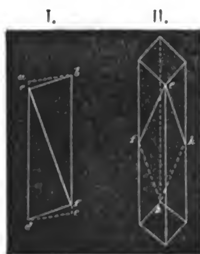
Der Turmalin krystallisirt in länglichen Säulen. Spaltet man einen solchen Krystall parallel der Axe in Platten und legt zwei derselben wieder auf dieselbe Weise zusammen, so zeigen sie sich durchsichtig, lassen also einfallendes gewöhnliches Licht so durch, als ob beide Platten nur eine einzige bildeten. Dreht man

*) Gilbert's Ann. Bd. XXXVIII. S. 241.

aber eine Platte auf der anderen, so daß die Axen einen Winkel mit einander bilden, so nimmt ihre Durchsichtigkeit immer mehr ab, je mehr sich die Axen der zu einander senkrechten Stellung nähern, so daß bei der letzteren die Platten völlig undurchsichtig sind. Also auch in diesem Falle zeigt sich das Licht polarisirt. Biot *) hat diese Eigenschaft des Turmalins entdeckt; Brewster beobachtete dasselbe zuerst an Achat, Perlmutter und dergleichen.

Das von Herapath in neuerer Zeit dargestellte Jodchininsalz, der sogenannte Herapathit **), zu dessen Darstellung eine Lösung aus 100 Gran sauren schwefelsauren Chinins in 4 Unzen heißer Essigsäure (specifisches Gewicht 1,042), 1 Unze rectificirten Alkohols (spec. Gew. 0,837) und 1 Drachme weingeistiger Jodlösung besonders empfohlen wird, ist geeignet die kostspieligen Turmaline zu ersetzen, so daß man den Herapathit wohl schon künstlichen Turmalin genannt hat. Die zur Polarisation besten Turmaline sind die — allerdings seltenen — ledergelben; ihnen zunächst stehen die grünen brasilianischen, am wenigsten leisten die bläulichen.

Die polarisirende Eigenschaft des Turmalins beruht eigentlich auf seiner doppeltbrechenden Kraft, wie bei dem Doppelspathe, nur daß das eine Bild bei zunehmender Dicke vollständig verschwindet. Es liegt daher nahe, sich künstlich eine die Stelle des Turmalins vertretende Vorrichtung aus einem Doppelspathe oder sonst einen doppeltbrechenden Körper zu verschaffen, indem man das eine Bild zum Verschwinden bringt. Dies hat der Engländer Nicol ***) in dem nach ihm benannten Nicol'schen Prisma oder in dem Nicol schlechtweg zur Ausführung gebracht. Ein natürliches Rhomboëder des isländischen Doppelspathes, dessen Spaltflächen ab und cd (s. beistehende Fig. I.) mit den Seitenflächen ad und bc einen Winkel von über 70° bilden, wird so abgeschliffen, daß diese Winkel nur noch 68° haben, wodurch die neu entstandenen Flächen be und df zur optischen Axe senkrecht werden. Hierauf wird das Rhomboëder senkrecht mit dem Hauptschnitte des Krystalles und rechtwinkelig mit den neuen Endflächen — also durch die spitzen Kantenwinkel und stumpfen Körperwinkel — so durchschnitten, wie es ef in Fig. I. in der Vorderansicht und ekhf in Fig. II. in der Seitenansicht zeigt. Nachdem diese schrägen Schnittflächen wohl polirt sind, werden sie wieder mit Canadabalsam zusammengeklebt. Durch dies Verfahren wird die gewünschte Wirkung erreicht, nämlich das zweite Bild fortzuschaffen. Die 4 langen Seiten kann man matt schleifen und mit einer matten schwarzen Farbe überziehen, um die Spiegelung aufzuheben. Der Canadabalsam besitzt ein Brechungsverhältniß, welches zwischen das des ordentlichen und das des außerordentlichen Strahles des Kalkspaths fällt, der ordentliche Strahl wird deshalb bei der Neigung der Fläche gegen denselben



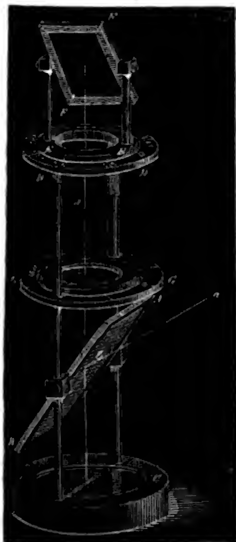
*) Traité de physique. T. IV. p. 311. Annal. de Chim. May 1815.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIV. S. 370. Philos. Magaz. 1852. III. No. 17. p. 161. Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 251, Bd. XC. S. 616.

***) Pogg. Ann. Bd. XXIX. S. 182, Bd. XLIX. S. 238.

total reflectirt, während der außerordentliche Strahl durch die Schicht hindurch in die zweite Hälfte eintritt und an der entgegengesetzten Fläche parallel dem auf erste Hälfte auffallenden Strahle wieder austritt, da die zweite Hälfte der ersten gleich ist, aber entgegengesetzt liegt. — Es haben diese Nicol'schen Prismen vor den Turmalinen sogar einen Vorzug, nämlich vollkommen farblos zu sein.

Um die Polarisationserscheinungen bequem studiren zu können, hat man besondere Polarisationsapparate construirt. Alle diese Apparate bestehen aus zwei in ihrer Wirkung auf directes Licht vollkommen gleichen Vorrichtungen, von denen die eine das direct einfallende Licht polarisirt und der Polarisator heißt, die andere aber das so polarisirte Licht zerlegt oder analysirt, d. h. die Unterschiede nachweist, welche dieses Licht von eben so einfallendem directen Lichte unterscheiden, und der Zerleger oder Analyseur genannt wird. Nach dem Vorhergehenden kann ein Polarisationsapparat demnach bestehen 1) aus einem geschwärzten Glasspiegel, wenn man nur das reflectirte Licht berücksichtigt, 2) aus einem Glassatze, 3) aus einem Turmalin, 4) aus einem Herapathit, 5) aus einem Nicol'schen Prisma als Polarisator sowohl, als auch als Zerleger, so daß man 15 verschiedene Combinationen bilden kann. Da der Herapathit und die Nicol'schen Prismen indessen nur Stellvertreter des Turmalins sind und in ihrer Anwendung keine verschiedene Construction des Apparates bedingt wird, so ergeben sich eigentlich nur 6 verschiedene Apparate, nämlich 2 Spiegel, 2 Glassätze, 2 Turmalinplatten, 1 Spiegel und 1 Glassatz, 1 Spiegel und 1 Turmalinplatte, 1 Glassatz und 1 Turmalinplatte.



Der Seebeck'sche *) Polarisationsapparat besteht aus zwei geschwärzten Spiegeln unter 35° 25′ zu einander geneigt, der eine drehbar. Bei Biot's **) Apparat kann die Neigung der Spiegel abgeändert werden.

Ein sehr bequemer und sehr gebräuchlicher Polarisationsapparat ist der von Nörrenberg ***). Er besteht aus der polarisirenden Glasplatte AB (s. nebenstehende Figur) aus geschliffenem Spiegelglase, welche um eine horizontale Axe zwischen zwei verticalen Stäben gedreht werden kann, und einem gewöhnlichen Planspiegel von Glas CC, welcher horizontal und mit der ringförmigen Oeffnung DD parallel ist, welche sich etwa in 1 Fuß Entfernung über CC befindet. Auf dem Rande der letzteren befindet sich eine Kreistheilung. In den Ring DD paßt der Ring EE, an welchem mittelst

*) Baumgartner und Ettinghausen, Zeitschr. 1827. Bd. II. S. 491.
**) Biot's Lehrb. v. Fechner 1829. Bd. V. S. 108.
***) Bullet. de l. soc. philom. 1833.

zweier verticaler Stäbe der um eine horizontale Axe drehbare, aus geschwärztem Glase bestehende Analyseur FF befestigt ist. Das Tischchen GG besteht aus einem messingenen — an manchen Apparaten verschiebbaren — Ringe mit einer runden farblosen Glasplatte.

Um mit diesem Apparate zu experimentiren, stellt man denselben so in die Nähe eines Fensters, daß das Tageslicht oder das einer weißen Wolke in der Richtung a b auf die polarisirende Glasplatte A B fällt, und stellt diese so, daß sie mit der verticalen Axe des Instrumentes einen Winkel von ungefähr 35° bildet. Das polarisirte Licht geht dann in der Richtung b c auf den Spiegel C C und von da in der Richtung c b d parallel mit der Axe nach dem Analyseur F F, der unter demselben Winkel zur Axe steht, wie A B. Ist nun F F mit A B parallel, so wird das Licht zurückgeworfen; dreht man aber den Ring E E in der Ebene des Ringes D D, so verschwindet das Licht um so mehr, je größer die Drehung wird, bis bei 90° Drehung das Licht ganz verschwindet; dreht man weiter, so erscheint das Licht wieder und nimmt an Intensität zu, bis die Drehung 180° beträgt; dreht man noch weiter, so treten bei der Drehung von 180° bis 360° dieselben Erscheinungen auf, welche vorher bei der Drehung von 0° bis 180° eintraten, so daß also auch bei 270° das Licht die geringste Intensität hat. Läßt man Kerzenlicht in der Richtung a b einfallen, so ist der Erfolg derselbe. — Das Tischchen G G dient zu Versuchen, von welchen noch im Verlaufe dieses Artikels die Rede sein wird, z. B. zum Auflegen von Krystallplatten, schnell gekühlten Gläsern ꝛc.

Statt des Analyseurs F F, welcher nach der vorhergehenden Beschreibung aus einem geschwärzten Glase besteht, kann man auch einen Glassatz aus 10 bis 12 Scheiben von gewöhnlichem Fensterglase nehmen und in eine Röhre unter gehöriger Neigung von 35° 25′ auf den Ring D D setzen. Sieht man dann durch diesen Glassatz hindurch, so treten dieselben Erscheinungen ein, wie sie vorher angegeben wurden, nur sind die Stellungen um 90° verschieden, so daß mithin das Gesichtsfeld hell erscheint, wenn die Reflexionsebene des Glassatzes mit der Polarisationsebene der von A B reflectirten Strahlen sich rechtwinkelig schneidet.

Einen sehr zweckmäßig construirten Polarisationsapparat hat Dove angegeben *). Dove stellt an einen solchen überhaupt folgende Anforderungen, die wir an dieser Stelle schon glauben erwähnen zu müssen, ungeachtet erst im Verlaufe dieses Artikels Manches erst seine nähere Erläuterung finden wird.

1) Daß das Licht wirklich vollständig, nicht theilweise polarisirt sei, was man nur durch Doppelbrechung erreicht.
2) Daß der Apparat bei Tageslicht eben so bequem anwendbar sei, als bei Lampenlicht, und daß er Lichtstärke genug besitze, um bei einer monochromatischen Beleuchtung seine Zwecke zu erfüllen.
3) Daß man ihn an jeder Stelle eines Zimmers gleich gut gebrauchen könne, weshalb die Richtung, in welcher man in den Zerleger sieht, mit der nach der Lichtquelle zusammenfallen müsse.
4) Daß man die analysirende sowohl als die polarisirende Vorrichtung mit beliebiger Geschwindigkeit um die Axe des Instrumentes drehen kann, eben so die in dem Apparate betrachteten Scheiben.

*) Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 596.

5) Daß man gekühlte und gepreßte Gläser und parallel der Axe geschnittene Krystallscheiben, so wie circularpolarisirende Flüssigkeiten eben so gut untersuchen kann, als auf die Axe senkrecht geschnittene Krystallscheiben, welche dicht an der analysirenden Vorrichtung sich befinden.

6) Daß die Polarisationsfarben vollkommen rein sind, d. h. nicht durch dichroitische Absorption in einem nicht farblosen Körper erhalten.

7) Daß man die Ringsysteme stark und schwach doppeltbrechender Krystalle gleich gut darin beobachten kann.

5) Daß man das linear polarisirte Licht sogleich in circulares oder elliptisches verwandeln kann.

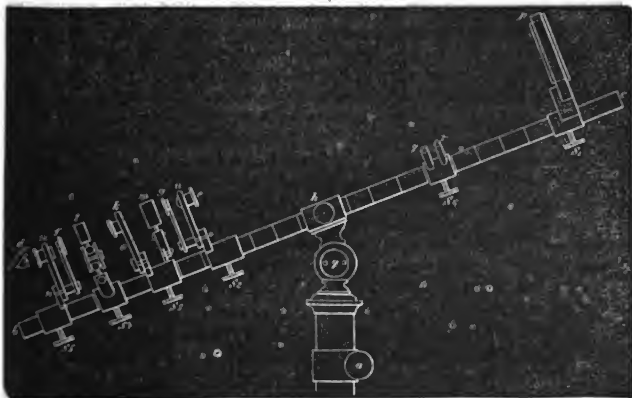
9) Daß man mit dem Apparate Messungen ausführen kann.

10) Daß man in dem Apparat befindliche Gegenstände während des Hineinblickens erwärmen, pressen, in tönende Vibrationen versetzen oder von einem elektrischen Strome umfließen lassen kann.

11) Daß man die durch Doppelbrechung erhaltene Polarisation und Analyse bequem durch eine vermittelst einfacher Brechung oder Spiegelung erhaltene ersetzen kann.

Der Dove'sche Polarisationsapparat, welcher diesen Anforderungen, wie der Bearbeiter dieses Artikels aus vielfachem Gebrauche desselben bestätigen kann, vollständig entspricht, ist nun auf folgende Weise eingerichtet.

Auf einem gewöhnlichen dreibeinigen messingenen Fernrohrstative mit horizontaler und verticaler Bewegung, dessen Höhe, da es eine Auszugsröhre enthält, vermittelst der Klemmschraube a von 16 bis 25 Zoll vergrößert werden kann, ist in einer Hülse h (s. beistehende Figur) ein dreiseitiges, zwei Fuß langes, in Pariser Zoll und Linien getheiltes messingenes Prisma bc verschieblich. Dieses Prisma



trägt 6 Schieber s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, welche sich vermittelst Klemmschrauben an jeder beliebigen Stelle der Scala fixiren lassen, und an welchen sich oben in

Ringe endende Ständer befinden, die entweder fest sind und sich nur senkrecht auf die Axe des Prisma umlegen, oder mittelst Stifte in an den Schiebern befindliche Löcher (q, r)) einstecken und da in beliebiger Höhe und Stellung festschrauben lassen. Die Mittelpunkte sämmtlicher Ringe liegen in einer dem dreiseitigen Prisma parallelen Geraden, welche die optische Axe des Instrumentes ist. Von diesen 6 Schiebern trägt s_1 die Collectivlinse p von 12 Zoll Brennweite und 3 Zoll Oeffnung, s_2 die polarisirende Vorrichtung e, s_3 die analysirende d aus einem Nicol'schen Prisma bestehende Vorrichtung.

Fällt paralleles Licht auf die Collectivlinse, so wird das polarisirende Prisma im Brennpunkte desselben sich befinden müssen, um alles auffallende Licht zu polarisiren; benutzt man hingegen das Licht einer Lampe, so muß es sich in der Vereinigungsweite der Strahlen befinden, welche divergirend auf die Collectivlinse auffallen. Bei dem Einstellen verschiebt man natürlich nicht das Nicol'sche Prisma, sondern die Collectivlinse, bis das concentrirte Licht der Lampe gerade in die Oeffnung des Prismas fällt.

Um die Polarisationsebenen der beiden Prismen willkürlich zu verändern, sind an den Ringen der Ständer s_2 und s_3 eingetheilte Messingscheiben angebracht, auf welchen sich ein an den Prismen angebrachter Zeiger bewegt, der, wenn er rückwärts über den Befestigungspunkt verlängert gedacht wird, mit der kürzeren Diagonale der rhombischen Grundfläche des Nicol'schen Prismas zusammenfällt. Die Eintheilung des Kreises ist so aufgetragen, daß bei verticaler Stellung des Ständers die durch die Punkte 0° und 180° gehende Gerade horizontal liegt.

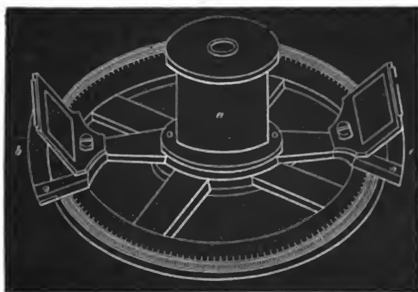


Nebenstehende Figur zeigt die Ansicht dieser Scheibe für das polarisirende Prisma des Ständers s_2. Die Theilung ist dem bei d befindlichen Auge zugekehrt, die Scheibe selbst dient zugleich, um fremdes Licht abzublenden; ihr Durchmesser beträgt daher 2¾ Zoll. Die Kreistheilung des polarisirenden Prismas befindet sich auf einem ringförmigen, durch zwei feste Durchmesser in vier Quadranten getheilten Kreise, wie die umstehende Fig. I. veranschaulicht. Das Nicol'sche Prisma a dreht sich auf einem Durchmesser bc, der an seinen Enden Nonien trägt; vermittelst derselben wird der direct in halbe Grade getheilte, 2½ Zoll im Durchmesser haltende Kreis in Minuten getheilt. In der Zeichnung des ganzen Instrumentes ist diese Theilung weggelassen, da für viele Beobachtungen eine getheilte Scheibe ausreicht.

Die die Nicol'schen Prismen tragenden Ständer lassen sich vermittelst eines Anschlags (s. die umsteh. Fig. II.) horizontal und vertical stellen; dasselbe gilt von dem Ständer s_3. Bei heiterem Wetter, wo das von dem Himmelsgewölbe reflectirte Licht bereits mehr oder weniger stark polarisirt ist, richtet man das Instrument wo möglich nach einer von der Sonne beleuchteten weißen Mauer. Will man aber das von dem Himmelsgewölbe reflectirte Licht direct benutzen, und zwar in größtmöglicher Intensität, so geschieht dies am einfachsten auf folgende Art: man dreht, nachdem man das polarisirende Prisma mit seiner Scheibe horizontal gelegt hat,

das analysirende so lange, bis man in einer im Ringe l des Ständers s_4 befindlichen, senkrecht auf die Axe geschnittenen Kalkspathplatte das Ringsystem mit dem

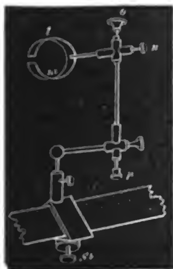
I.



schwarzen Kreuze erhält, stellt dann das polarisirende Prisma e wieder vertical und dreht dasselbe so lange, bis man dieselbe Erscheinung im Kalkspathe wahrnimmt. Der Zeiger des polarisirenden Prismas e giebt dann die Richtung der Polarisationsebene des einfallenden Lichtes und die Ringe erscheinen dann in größter Klarheit.

Das von dem polarisirenden Prisma divergirend ausgehende Licht wird zuerst von einer unter v angedeuteten Convexlinse von $1^1/_2$ Zoll Brennweite, deren Entfernung von der Oeffnung e 3 Zoll beträgt, und welche unmittelbar auf der Mitte der getheilten Kreisscheibe befestigt ist, aufgefangen und fällt dann auf die 3 Zoll entfernte Linse k von $1^1/_2$ Zoll oder kürzerer Brennweite des Ständers s_3. Von hier geht es durch den im Ringe l befindlichen, im polarisirten Lichte zu untersuchenden Krystall des Ständers s_4 und nun in das analysirende Prisma d, in dessen unterem Ende eine unter u angedeutete Hohllinse von 4 bis 5 Zoll Brennweite eingeschraubt ist. Diese Linse kann für Weitsichtige weggelassen werden. Dem Ringe l kann vermittelst einer Kugelbewegung, welche in der Zeichnung des ganzen Apparates dargestellt ist, jede beliebige Neigung gegen die Axe des Instruments gegeben werden. Noch bequemer ist der in nebenstehender Fig. II. dargestellte, in dem Ständer s_4 befestigte Krystallhalter l o p. Dies geschieht vermittelst des Stiftes m n in horizontaler, vermittelst des Stiftes o p in lothrechter Richtung. Da m n in der Hülse drehbar ist, so giebt man dem Krystalle die erforderliche Neigung gegen die optische Axe des Instrumentes, ehe man ihn durch die Schraube o befestigt.

II.



Der Ring m in der ganzen Zeichnung, nahe in der Brennweite von k, ist zur Aufnahme gekühlter Gläser, Gypsblättchen und Amethyste bestimmt. Diese gekühlten Gläser

dürfen, wenn sie ganz übersehen werden sollen, nicht groß sein, etwa bis zu einem halben Zoll Durchmesser. Große gekühlte Gläser, z. B. Glaskreuze bis 2½ Zoll Durchmesser, werden am besten in Licht betrachtet, welches durch Spiegelung oder einfache Brechung polarisirt ist. Sie werden in den Ring des Ständers s_6 eingesetzt, oder, wenn sie sich schon in einer Fassung befinden, mittelst eines an dieser befestigten Stiftes in den Ständer s_6 eingesteckt und festgeschraubt und durch das analysirende Prisma betrachtet, nachdem das polarisirende Prisma e und die Linse k zur Seite gebogen sind, und die Ringe m und l aus ihren Ständern s_3 und s_4 herausgenommen worden. Um einen horizontalen Polarisationsspiegel zu benutzen, ist über die drei Stücke des Charniers q auf der linken Seite der ganzen Zeichnung ein Strich gezogen. Bilden die Theile dieses Striches eine gerade Linie, so ist die Stange bc unter dem Polarisationswinkel gegen einen horizontalen Spiegel geneigt. Bequemer ist es aber, ein für allemal einen schwarzen Spiegel unter der entsprechenden Neigung auf einen besonderen Ständer, ähnlich dem Ständer s_6, vor den die Collectivlinse tragenden Ständer s_1 zu setzen, oder unter dieser Neigung auf einen Ring zu befestigen, der auf der Collectivlinse p nach c hin sich aufschrauben läßt. Soll das Licht durch einfache Brechung polarisirt werden, so befestigt man vor der Objectivlinse nach c hin auf einem besonderen Schieber einen Satz dünner Glasscheiben, der in einem drehbaren Ringe, durch zwei Stifte befestigt, jede beliebige Neigung annehmen kann. Soll das Licht durch Spiegelung analysirt werden, so dient dazu die nebenstehend durch eine Zeichnung veranschaulichte Vorrichtung, wo u die Hohllinse trägt, wie in der ganzen Zeichnung. Für die Analyse durch einfache Brechung ist es passend, einen kleinen Glassatz in eine cylindrische Fassung, wie ein Nicol'sches Prisma zu fassen. Man erhält auf diese Weise alle oben angegebenen 6 Combinationen, nämlich 1) zwei Nicol'sche Prismen; 2) ein Nicol'sches Prisma und einen ebenen Spiegel; 3) ein Nicol'sches Prisma und einen Glassatz; 4) zwei ebene Spiegel; 5) einen ebenen Spiegel und einen Glassatz und 6) zwei Glassätze.

Auf noch andere Einrichtungen dieses Apparates, z. B. um die lineare Polarisation und Analyse auf eine bequeme Art in circulare und elliptische zu verwandeln, werden wir an den betreffenden Stellen dieses Artikels eingehen und dann die noch sonst an der Zeichnung des ganzen Apparates sich findenden Theile erläutern.

Es ist bereits oben erwähnt, daß Malus die Polarisation des Lichtes nicht blos am Glase, sondern auch am Wasser beobachtete; überhaupt fand er diese Wirkung bei allen spiegelnden Flächen, und nur darin irrte er sich, daß er gefunden zu haben glaubte, die von Metallen reflectirten Strahlen seien nicht polarisirt, während dies bei ihnen, allerdings mit einer später noch zu erwähnenden Modification, doch der Fall ist. Der Polarisationswinkel für Glas ist 35° 25′ zur Fläche; bei anderen Substanzen ist er ein anderer. Brewster war so glücklich (1815), eine merkwürdige Relation zwischen diesem Winkel und dem Brechungs-

verhältnisse der polarisirenden Substanz aufzufinden, nämlich daß die Tangente des zum Lothe gerechneten Polarisationswinkels dem Brechungsverhältnisse gleich ist *). An 18 Körpern fand er das Gesetz bestätigt. Ist also n das Brechungsverhältniß und α der Einfallswinkel bei vollständiger Polarisation, so ist $\operatorname{tgs} \alpha = n$. Nennen wir den zu α zugehörigen Brechungswinkel β, so ist $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$, also $\sin \alpha = n \cdot \sin \beta$; aus $\operatorname{tgs} \alpha = n$ folgt aber auch $\sin \alpha = n \cdot \cos \alpha$; folglich ist $\cos \alpha = \sin \beta$, d. h. $\alpha + \beta = 90^0$, d. h. für den Winkel der vollständigen Polarisation stehen der reflectirte und der gebrochene Strahl auf einander senkrecht.

Wie nahe dies Gesetz mit der Beobachtung stimmt, ergiebt sich aus folgender Tabelle.

Namen der Substanzen	Winkel der Polarisation im Maximum		Differenzen
	beobachtet	berechnet	
Luft	45° —'	45° 0' 32"	
Wasser	52 45	53 11	— 0° 26"
Flußspath	54 50	55 9	— 0 19
Obsidian	56 3	56 6	— 0 3
Schwefelsaurer Kalk . . .	56 28	56 45	— 0 17
Bergkrystall	57 22	56 58	+ 0 24
Opalglas	58 1	58 33	— 0 32
Topas	58 40	58 34	+ 0 6
Perle	58 47	58 50	— 0 3
Kalkspath	58 23	58 51	— 0 28
Orangefarbiges Glas . .	59 12	59 28	— 0 16
Rubin Spinell	60 16	60 25	— 0 9
Zirkon	63 8	63 0	+ 0 8
Antimonglas	64 45	64 30	+ 0 15
Natürlicher Schwefel . .	64 10	63 45	+ 0 25
Diamant	68 2	68 1	+ 0 1
Chromsaures Blei . . .	67 42	68 3	— 0 21

Das Licht wird nicht nur auf der ersten Oberfläche der Körper polarisirt, sondern auch im Innern ihrer Masse durch die Reflexion, die es auf ihrer zweiten Oberfläche (der Hinterfläche) erleidet. Dieser Polarisationswinkel ist durch dasselbe Gesetz bestimmt. Nehmen wir eine Platte mit parallelen Flächen an, auf welche ein Lichtstrahl mit dem Polarisationswinkel p falle. Der durchgelassene Theil wird auf der zweiten Oberfläche unter einem Winkel r zurückgeworfen, und man hat daher $\sin p = n \cdot \sin r$, wenn n das Brechungsverhältniß angiebt, aber auch $\sin p = \cos r$; folglich $\operatorname{tgs} r = \frac{1}{n}$. Der Brechungsexponent ist in diesem

*) Philos. Transact. for 1815. p. 126.

Falle in seinem reciproken Werthe $\frac{1}{n}$ zu setzen, da der Strahl aus dem polarisirenden Mittel heraustritt, also die Tangente des Polarisationswinkels dem Gesetze gemäß $= \frac{1}{n}$. Das Licht also, welches auf der ersten Fläche einer Platte mit parallelen Seiten polarisirt wird, giebt einen gebrochenen Lichtbüschel, welcher darauf nach der zweiten Fläche hingeht, und da vollständig polarisirt wird.

Als eine wesentliche Eigenthümlichkeit des polarisirten Lichtes hat sich — wie wir gesehen haben — herausgestellt, daß es keine Reflexion erleidet, wenn es auf eine reflectirende Fläche fällt, unter der doppelten Voraussetzung, daß die Einfallsebene senkrecht auf die Polarisationsebene und daß der Einfallswinkel gleich dem Polarisationswinkel sei. Bezeichnet man die Intensität des reflectirten Lichtes mit J, so hat man in diesem Falle $J = o$. Fallen hingegen beide Reflexionsebenen zusammen, so ist bei gleichen Reflexionswinkeln die Intensität ein Maximum $= M$, also $J = M$. Zwischen dem Maximum und Minimum ist die Intensität veränderlich und nimmt immer mehr ab, je mehr die reflectirenden Flächen die Stellung des Minimums zu einander annehmen. Das Gesetz dieser Veränderung konnte Malus durch den Versuch nicht bestimmen, er drückte es aber durch die Formel aus

$$J = M \cos^2 \alpha,$$

in welcher J und M die angegebene Bedeutung haben und α den veränderlichen Winkel bezeichnet, welchen die Einfallsebene mit der Polarisationsebene macht. Für $\alpha = o$, ist $J = M$; für $\alpha = 45^0$, $J = \frac{1}{2} M$; für $\alpha = 90^0$, $J = o$. Die Versuche bestätigen dies. Zur Veranschaulichung der Intensitätsverhältnisse kann beistehende Figur dienen. Man theile einen Kreis A B C D durch zwei auf einander senkrechte Durchmesser und beschreibe von den Endpunkten D und B des einen Durchmessers aus Curven D 360 B und B 180 D, so stellt die zwischen dem Kreise und diesen Curven enthaltene durch den Mittelpunkt M gehende Linie die Intensität vor. Für einen Winkel o ist also $J = A o$; für $< o M F$ ist $J = E F$; für $< o M 90$ ist $J = o$ u. s. f. Beschreibt man von den Endpunkten des zweiten Durchmessers A C aus eben solche Curven, wie es durch die punktirten Curven angedeutet ist, so erhält man hierdurch eine Veranschaulichung der Intensitätsverhältnisse für senkrecht zu einander oder entgegengesetzt polarisirte Strahlen.



Die Anhänger der Emanationstheorie sahen sich, um diese Erscheinungen zu erklären, genöthigt, die Lichtstrahlen gewissermaßen als kantig anzusehen und den einander gegenüberstehenden Flächen entgegengesetzte Eigenschaften, d. h. eine Polarität, zuzuschreiben. Durch die Wirkung besonderer Kräfte sollten dann alle Theilchen eines und desselben Strahles in eine mit einander parallele Lage gebracht

werden, so daß ihre homologen Flächen nach den nämlichen Seiten des Raumes hinsehen, ähnlich der Wirkung eines Magnets auf eine Reihe magnetischer Nadeln, durch welche die Pole aller nach der nämlichen Richtung gekehrt werden. Namentlich Biot hat sich bemüht, diese Ansicht mathematisch auszubilden und zu stützen. Wir begnügen uns hier mit dem Hinweise auf Biot's Traité de Phys., übersetzt von Fechner: Biot's Lehrbuch der Experimental-Physik. Leipzig 1829. Bd. V. S. 121 ff. und auf Poggendorff's Ann. Bd. XII. S. 245, und glauben dies um so mehr thun zu können, da die Vibrationstheorie immer siegreicher aus dem Kampfe hervorgeht, namentlich da durch Foucault's Versuche *) nachgewiesen ist, daß die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser sich zu der in der Luft verhält wie 3 : 4, während nach der Emanationstheorie es gerade umgekehrt hätte sein müssen. Die Grundzüge der Theorien zur Erklärung der optischen Erscheinungen finden sich im Art. Licht, Bd. IV. S. 520; überdies verweisen wir auf Art. Inflexion, Bd. IV. S. 68 und Art. Farbenringe Newton's, Bd. III. S. 17. Nr. 15, namentlich S. 75. Nr. 17 ff.

Eine sehr schöne populäre Veranschaulichung der Polarisationsphänomene giebt Dove **) in folgender Weise:

Denkt man sich Nadeln in ein Sieb geschüttet, in dessen Boden lauter parallele Schlitze sich befinden, durch welche die Nadeln hindurchfallen können, so werden alle hindurchfallende parallel sein. Fängt man sie in einem zweiten, ganz ähnlichen Siebe auf, so werden bei gleicher Lage desselben die Nadeln auch durch dieses hindurch fallen. Dreht man hingegen das untere Sieb in seiner Ebene um einen Viertelkreis, so werden alle Nadeln liegen bleiben, sie würden jedoch bei dieser Stellung des zweiten Siebes ebenfalls durchfallen, wenn sie während ihrer Bewegung zwischen dem ersten und zweiten Siebe auf irgend eine andere Weise um eben so viel gedreht würden. Fielen die Nadeln in lothrechter Lage herab, so würde eine Drehung der Siebe in ihrer Ebene keinen Unterschied hervorbringen. Die Siebe bedeuten die Turmalinplatten, die Nadeln aber stellen die Licht-Schwingungen vor, welche nach der einen Richtung des Körpers sich ungehindert fortpflanzen, in der darauf senkrechten aber aufgehoben werden. Ein gewöhnlicher doppeltbrechender Körper ist einem Siebe zu vergleichen, welches zwei auf einander senkrechte Systeme länglicher Oeffnungen enthält, so daß er also zwei auf einander senkrecht polarisirte Bilder gleicher Helligkeit giebt, welche sich so verhalten, als wäre Licht durch zwei neben einander liegende Turmalinplatten gegangen, deren Axen aber einen rechten Winkel mit einander bilden.

Gehen wir nun näher auf die Erklärung nach der Vibrationstheorie ein, wie solche zuerst von dem Franzosen Fresnel (gest. 1826) in einer im November 1821 der französischen Academie vorgelegten Abhandlung entwickelt worden ist ***). Wie auch die Schwingungen eines Aethertheilchens beschaffen sein mögen, das auf dem Wege der Lichtfortpflanzung liegt, immer können wir sie als eine Bewegung betrachten, die aus der Zusammenwirkung dreier geradliniger Schwingungen hervorgeht, die in der Richtung dreier auf einander senkrechter

*) Art. Licht, Bd. IV. S. 519.
**) Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853. S. 96.
***) Annal. de Chim. T. XVII.

Axen vor sich gehen; dabei bleibt noch die Wahl dieser Axen unbeschränkt. Am einfachsten wird es sein, eine dieser Axen mit der Richtung des Lichtbündels oder der parallelen Strahlen zusammenfallen zu lassen, also senkrecht auf die Wellenebene anzunehmen, und die anderen beiden in eine auf dem Strahle senkrechte Ebene zu legen. Die mit der Lichtfortpflanzungsrichtung zusammenfallenden Schwingungen nennt man longitudinale, die darauf senkrechten transversale. Es könnten nun die Oscillationen nur transversale, oder nur longitudinale sein, oder aus beiden Arten von Schwingungen resultiren. Für longitudinale Oscillationen scheint die Analogie mit den Schallwellen zu sprechen; aber die Seitlichkeit des polarisirten Lichtes läßt sich hierdurch unmöglich erklären. Es ist daher das Vorhandensein und die Annahme transversaler Schwingungen gar nicht zu umgehen. In Betreff der longitudinalen Schwingungen, welche die transversalen möglicherweise noch begleiten, kann man nun die Annahme machen, daß sie beim Durchstrahlen eines Kalkspathes vernichtet werden, so daß das polarisirte Licht nur aus transversalen Schwingungen bestände; oder man könnte auch annehmen, daß sie, irgendwie modificirt, aus dem Kalkspathe wieder herausträten. In dem Lichte, welches durch den ersten Kalkspath polarisirt wird, befinden sich alsdann longitudinale Schwingungen, und diese müßten sich auch durch den zweiten Kalkspath fortpflanzen, indem sie dabei irgendwie, aber, welches auch die Stellung des letzteren Krystalles sei, immer auf gleiche Weise modificirt werden. Das Experiment entscheidet hierüber. Bei der senkrechten Kreuzung der Hauptschnitte tritt nämlich aus der zweiten Hülse der Krystalle durchaus keine wahrnehmbare Lichtbewegung hervor; wenn also überhaupt longitudinale Schwingungen existiren, so sind wir doch nicht im Stande, sie mit unserem Sinne wahrzunehmen. Wir sehen uns deshalb genöthigt, das polarisirte Licht, insofern es in die Erscheinung tritt, auf transversale Schwingungen zurückzuführen. Th. Young vermuthete dies zuerst, wie aus einem Briefe hervorgeht, welchen er am 12. Januar 1817 an Arago schrieb.

Es fragt sich nun, wie die beiden transversalen Axen liegen. Am einfachsten wird es sein, die eine Axe parallel der Polarisationsebene oder in dieser selbst anzunehmen, die andere senkrecht gegen dieselbe, da diese beiden Ebenen sich beim polarisirten Lichte vor allen geltend machen. Ob aber beide Axen nöthig sind, oder nur eine, muß noch entschieden werden. Wären beide Axen zugleich vorhanden, so wäre zwar denkbar, daß das polarisirte Licht nach den angegebenen Richtungen eine Seitlichkeit verriethe, nicht aber zu begreifen, wie je nach der Stellung des zweiten Krystalls einmal das Licht fast ungeschwächt durchgelassen, das zweite Mal vollständig vernichtet werden könne. Es bleibt mithin nur eine transversale Schwingungsrichtung übrig, die man mit demselben Rechte in der Polarisationsebene, oder senkrecht auf derselben annehmen kann, da kein Phänomen bisher eine Entscheidung gegeben hat. Nach Babinet *) erfolgen die Schwingungen in der Polarisationsebene, nach Haidinger **) und Angström ***) senkrecht darauf. Man hat sich dahin entschieden, die Schwingungen des polarisirten Lichtbündels auf seiner Polarisationsebene senkrecht anzunehmen. Man nennt diese

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 580.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 131.
***) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 585.

Ebene die Schwingungsebene oder Oscillationsebene oder Vibrationsebene.

Die Schwingungen der Aethertheilchen gehen also beim polarisirten Lichte in einer Ebene vor sich und zwar senkrecht zur Polarisationsebene nach beiden Seiten derselben hin, indem sich das einzelne Aethertheilchen in einem solchen Strahle von seiner Ruhelage nach der einen Seite hin entfernt, dann von seinem größten Ausschlage in die Ruhelage zurückkehrt, um auf der anderen Seite genau dieselbe Bewegung zu machen. Einen solchen, auf parallele, geradlinige Oscillationen zurückgeführten, Lichtstrahl nennt man geradlinig polarisirt.

Besteht der wahrnehmbare Theil aller Lichtarten aus transversalen Schwingungen, so ist schon theoretisch klar, daß sich das gewöhnliche Licht als aus der Zusammenwirkung zweier geradlinig polarisirter Lichtbündel oder Wellen hervorgegangen ansehen läßt, so daß man es in zwei geradlinig polarisirte Lichtbündel zerlegen und eben so umgekehrt aus solchen zusammensetzen kann. Die Erfahrung bestätigt dies, wenn man die zu einander senkrecht polarisirten ordentlichen und außerordentlichen Lichtbündel des isländischen Spathes zusammenfallen läßt, indem man in dem obigen Fundamentalversuche die Oeffnungen o o erweitert, wodurch die beiden Bilder bis zum Schneiden gebracht werden können. Der Theil, in welchem beide Bilder sich decken, zeigt die Intensität des gewöhnlichen Lichtes und doch wird er gebildet von den ordentlichen und außerordentlichen Strahlen, deren jeder für sich eine geringere Intensität hat und die senkrecht zu einander polarisirt sind.

Nachdem somit die Art und Weise der Aetherbewegung in dem geradlinig polarisirten Lichte sich ergeben hat, können wir nach Art der Gesetze für Pendelbewegung auch für die hier in Rede stehenden Aetherschwingungen mathematische Gesetze aufstellen. Es ist dies bereits im Artikel Inflexion, Bd. IV. S. 69 ff. geschehen und deshalb verweisen wir dahin. Es ist klar, daß für homogenes Licht die Intensität Null sein muß, wenn die Schwingungen, um einen Eindruck auf unser Sehorgan hervorzubringen, in einer Ebene erfolgen müßten, welche zu der ursprünglichen senkrecht stehen würde; eben so daß die Intensität um so mehr abnehmen muß, je mehr der polarisirte Strahl sich dieser Lage nähert. Die aus den nach der Vibrationstheorie abgeleiteten Gesetzen sich ergebenden Resultate in Betreff der Interferenz können, wegen ihrer vollen Uebereinstimmung mit der Erfahrung, als Beweis für die Richtigkeit der Theorie gelten. Es sei nur nochmals bemerkt, daß Fresnel *) sich besondere Verdienste um die Erklärung der Polarisation nach der Vibrationstheorie erworben hat.

Verfolgen zwei polarisirte Strahlen denselben Weg, sind aber die Polarisationsebenen derselben gegen einander geneigt, so setzen sie sich nach dem Parallelogramme der Kräfte zu einem Strahle zusammen, in welchem in jedem Momente der Ausschlag der Aetherschwingung als die Diagonale desjenigen Parallelogramms gefunden wird, dessen Seiten die Ausschläge der componirenden Strahlen sind. Zwei derartige Strahlen können sich mithin nie vernichten, wie auch Fresnel und Arago durch den Versuch bestätigt gefunden haben **).

*) Art. Licht, Bd. IV. S. 327. Mém. de l'Acad. 1827. p. 45. Ann. de chim. et de la phys. T. XLVI. p. 225.

**) Herschel's Optik §. 946 ff.; vergl. Beer, Einleitung in die höhere Optik. S. 99.

So wie man einen Strahl aus der Interferenz zweier gegebener, geradlinig polarisirter Strahlen zusammensetzen kann, kann man auch die Aufgabe stellen, einen gegebenen Strahl umgekehrt in zwei andere zu zerlegen, durch deren Interferenz derselbe erzeugt werden würde. Beer (a. a. O. S. 111) löst die Aufgaben: 1) Einen gegebenen geradlinig polarisirten Strahl in zwei andere mit derselben Polarisationsebene zu zerlegen, die, abgesehen von der Lage, unter einander gleich sind, und von welchen der eine dem gegebenen um eben so viel voreilt, als der andere nachfolgt. 2) Ein gegebener geradlinig polarisirter Strahl S soll durch zwei andere, S_1 und S_2, ersetzt werden, die denselben Effect hervorbringen wie jener, von denen aber S_1 in einer Ebene oscillirt, die mit der Oscillationsebene des Strahles S den Winkel φ einschließt, während die Oscillationsebene des zweiten Strahles S_2 auf der des ersten senkrecht steht.

Betrachten wir die Zusammensetzung zweier Strahlen näher, so führt uns dies zur circularen und elliptischen Polarisation. Am vollständigsten sind Beer's Abhandlungen über die Aetherbewegungen *), durch welche derselbe Fresnel's und Cauchy's Arbeiten eigentlich zum Abschlusse gebracht hat.

Setzen wir in Art. Inflexion, Bd. IV. S. 72 die Schwingungsdauer $T = \frac{\lambda}{v}$, wo λ die Wellenlänge und v die Lichtgeschwindigkeit bedeuten, so erhalten wir für zwei geradlinig polarisirte Strahlen von gleicher Wellenlänge, welche dieselbe Fortpflanzungsrichtung haben und also zusammenfallen, die beiden Gleichungen:

$$S_1 \ldots y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x + A) \quad \ldots \quad (1)$$

$$S_2 \ldots z = b \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x + B) \quad \ldots \quad (2)$$

vorausgesetzt, daß die Fortpflanzungsrichtung mit der positiven Richtung der x-Axe eines Raum-Coordinatensystems zusammenfällt und y und z in der Richtung der Ausschläge des einen und des anderen Strahles gerechnet werden. Diese Gleichungen geben die Werthe an, welche die Coordinaten y und z eines, von beiden Bewegungen zugleich afficirten Theilchens, dessen Entfernung vom Anfangspunkte x ist, zur Zeit t annehmen **).

Da die Perioden der Bewegungen S_1 und S_2 gleich sind, so wird die aus beiden resultirende neue Bewegung dieselbe Periode, wie jene aufweisen, und nach dem Verlaufe dieser Periode wird jedes Aethertheilchen in seine ursprüngliche Lage zurückgekehrt sein; die Bahnen der Aethertheilchen sind also in sich geschlossene Linien, die während der Oscillationsdauer der Strahlen S_1 und S_2 beschrieben werden. Da die Schwingungen von S_1 und S_2 transversal sind, so werden die Bahnen ersichtlich eben sein und ihre Ebenen, durch die Ruhelagen der Theilchen gehend, auf der Richtung der Fortpflanzung senkrecht stehen. Der Zustand, welchen ein Aethertheilchen in Folge der Bewegung S_1 annehmen würde, pflanzt sich mit derselben Geschwindigkeit fort als derjenige, in welchen es von der Bewegung

*) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 115, 268, 467, 561 und Bd. XCII. S. 402 u. 522.
**) Beer's Einleitung S. 99 ff.

S_2 versetzt würde. Mit derselben Geschwindigkeit überträgt sich auch der resultirende Zustand ungeändert an ein ferneres Theilchen. Alle Theilchen beschreiben also gleiche parallel gelegene Bahnen; dabei passiren in diesen Bahnen die Aethertheilchen durch homogene Punkte um so später, je weiter sie in der Richtung der Strahlen abliegen. Welches ist aber die Gestalt der Bahn, welches sind die Gesetze, nach welchen sie beschrieben wird?

Zwischen den Gleichungen 1) und 2) können wir die Größen $vt - x$ eliminiren, und die hierdurch erhaltene Gleichung drückt ersichtlich eine Beziehung zwischen y und z aus, die zu einer jeden Zeit und in der ganzen Ausdehnung des resultirenden Strahles S stattfindet. Die Eliminationsgleichung stellt also die Bahn aller Theilchen zu jeder Zeit dar. Für die Gleichungen 1) und 2) können wir aber schreiben:

$$\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x + A) = \text{arc. sin}\,\frac{y}{a} \quad . \; . \; . \quad (1')$$

$$\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x + B) = \text{arc. sin}\,\frac{z}{b} \quad . \; . \; . \quad (2')$$

woraus sich durch Subtraction ergiebt:

$$\frac{2\pi}{\lambda}(A - B) = \text{arc. sin}\,\frac{y}{a} - \text{arc. sin}\,\frac{z}{b}.$$

Setzen wir nun zur Abkürzung

$$\frac{2\pi}{\lambda}(A - B) = \alpha, \ \text{arc. sin}\,\frac{y}{a} = \eta, \ \text{arc. sin}\,\frac{z}{b} = \zeta,$$

so erhalten wir aus der letzten Gleichung:

$$\sin(\alpha + \zeta) = \sin\eta, \text{ oder}$$

$$\sin\alpha\sqrt{1 - \sin\zeta^2} + \cos\alpha\sin\zeta = \sin\eta, \text{ also:}$$

$$\sin\alpha^2\,(1 - \sin\zeta^2) = \sin\eta^2 + \cos\alpha^2\sin\zeta^2 - 2\cos\alpha\sin\eta\sin\zeta, \text{ oder}$$

$$\sin\eta^2 + \sin\zeta^2 - 2\cos\alpha\sin\eta\sin\zeta = \sin\alpha^2,$$

wofür wir wieder setzen können:

$$. \; . \; . \; \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} - 2\cos\frac{2\pi}{\lambda}(A - B)\frac{yz}{ab} = \sin^2\frac{2\pi}{\lambda}(A - B). \; . \; . \; . \quad (3)$$

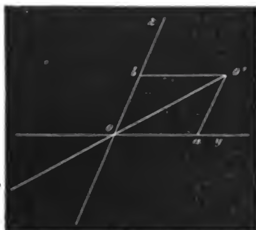
Diese Gleichung (3) zwischen y und z stellt, da der charakteristische Ausdruck $\left\{\frac{\cos\frac{2\pi}{\lambda}(A - B)}{ab}\right\}^2 - \frac{1}{a^2}\cdot\frac{1}{b^2}$ kleiner als Null ist, im Allgemeinen eine Ellipse dar, deren Mittelpunkt in der x-Axe liegt. In dem resultirenden Strahle beschreiben also die Aethertheilchen lauter gleiche und parallel gelegene Ellipsen, deren Mittelpunkte die Ruhelagen der Theilchen sind, und deren Ebenen auf der Richtung der Strahlen senkrecht stehen.

Wir nennen daher den durch Interferenz aus S_1 und S_2 erzeugten Strahl **elliptisch polarisirt**.

Untersuchen wir nun bestimmte Fälle. Da sämmtliche Bahnen gleich und parallel sind, so ist es gleichgültig, welche von ihnen wir einer weiteren Betrachtung unterziehen. Wir wählen die des Theilchens aus, dessen Abscisse A ist, so gehen die Gleichungen für S_1 und S_2 über in:

$$S_1 \ldots . y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} . vt,$$

$$S_2 \ldots . z = b \sin \frac{2\pi}{\lambda} [vt - (A - B)].$$



Nehmen wir ferner an, o in nebenstehender Figur sei jenes Theilchen, oy die von links nach rechts gehende Richtung der positiven y, oz die von unten nach oben gehende Richtung der positiven z, also yoz = φ der spitze Winkel, welchen die Oscillationsebenen beider Strahlen einschließen; die Fortpflanzung der Strahlen finde von dem hinter der Ebene der Zeichnung gelegenen Raume nach dem diesseits befindlichen statt.

1) Wenn A = B ist, d. h. zwischen S_1 und S_2 kein Phasenunterschied stattfindet und somit die Knotenpunkte in den Wellenlinien beider Strahlen zusammenfallen, so erhalten wir für S_1 und S_2 und die Bahn die folgenden Gleichungen:

$$S_1 \ldots . y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt,$$

$$S_2 \ldots . z = b . \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt,$$

$$E \ldots . \frac{y}{a} - \frac{z}{b} = o.$$

Die Bahn ist somit eine gerade Linie, die durch die Ruhelage des Theilchens o, d. h. durch o geht und deren Richtung wir in der Diagonale oo' des Parallelogramms oa o'b erhalten, dessen Seiten oa und ob den Amplituden a und b gleich kommen. Die Ausschläge y und z, von t = o an wachsend, bleiben, wie die Gleichungen für S_1 und S_2 zeigen, in dem Verhältnisse a : b; von o ausgehend schlägt also das Theilchen auf oo' nach o' hin aus. In o' gelangt es an zur Zeit $t = \frac{\delta}{4}$. Hierauf kehrt das Theilchen wiederum zurück, gelangt zur Zeit $\frac{\delta}{2}$ nach o, und schlägt hierauf in derselben Art nach der anderen Seite hin aus. Es oscillirt also das Theilchen auf oo' um o ganz so wie das Theilchen eines geradlinig polarisirten Strahles. Bezeichnen wir die Ausschläge, also die Werthe der Diagonale mit r, so erhalten wir:

$$r = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \varphi} \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt,$$

also eine Gleichung von derselben Form wie für S_1 und S_2, aus der wir überdies sehen, daß die Amplitude ihren kleinsten Werth hat, für $\varphi = 90^0$, da φ nur spitz sein soll, also wenn die Polarisationsebenen auf einander senkrecht stehen, und ihr Maximum erreicht für $\varphi = o$, also wenn die Polarisationsebenen zusammenfallen.

2) Wenn A — B wächst, dabei aber einen Werth behält, der kleiner als $\frac{\lambda}{4}$ ist, so weicht die jetzt elliptische Bahn von der geradlinigen ab, und zwar um so mehr, je größer A — B wird. Die Ausschläge z beginnen erst zu der Zeit $\frac{A - B}{v}$ positiv zu werden. In eben diesem Momente ist z = o, während y bereits den positiven Werth $a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(A - B)$ erlangt hat. Es sei o o′ (s. beistehende Figur) dieser Werth, so ist o′ die Lage des Theilchens in jenem Momente. Hierauf wachsen nun die positiven y und z gleichzeitig. Jene erreichen ihr Maximum a zur Zeit $\frac{\delta}{4}$. Für diese Zeit wird



$$z = b \,.\, \sin \frac{2\pi}{\lambda}[vt - (A - B)],$$

ein Werth, der kleiner als b ist. Es sei o m = a und o n = dem letzterwähnten Werthe, so ist o″ die Lage des Theilchens zur Zeit $\frac{\delta}{4}$. Die Werthe von y nehmen hierauf wieder ab, während die von z noch wachsen, woraus wir denn ersehen, daß m o″ die Bahn in o″ tangirt. Die Werthe von z erreichen ihr Maximum b zur Zeit $\frac{\delta}{4} + \frac{A - B}{v}$, welche, da $A - B < \frac{\lambda}{4}$ ist, zwischen $\frac{\delta}{4}$ und $\frac{\delta}{2}$ liegt. Zu derselben Zeit wird $y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}[vt - (A - B)]$, welche Größe zwischen a und o liegt; es sei m′o diese Größe und o n′ = a, alsdann ist o‴ die Lage des Theilchens zu jener Zeit. Da hierauf die z-Ausschläge wiederum kleiner werden, während die y im Abnehmen fortfahren, so berührt n′o‴ die Bahn in o‴. Die y-Ausschläge beginnen endlich negativ zu werden zur Zeit $t = \frac{\delta}{2}$. In diesem Momente befindet sich das Aethertheilchen auf o z, und seine Entfernung $z = b \sin \frac{2\pi}{\lambda}[vt - (A - B)]$ von o liegt zwischen b und o; sie sei o o⁗. Beschreiben wir nun die Ellipse, die durch die Punkte o′o″o‴o⁗ geht, und welche die Geraden m o″ und n′o‴ in o″ und o‴ berührt, so ist diese die Bahn des Theilchens, die durch die Gleichung (3) dargestellte Linie. Das Theilchen durchläuft seine Bahn in einem Sinne, welcher dem bei der Drehung eines Uhrzeigers entgegengesetzt ist; seine Bewegung ist also eine links herum gehende.

Da die beschleunigenden Kräfte hier Centralkräfte sind, indem ihre Richtungen durch die Ruhelage des Aethertheilchens gehen, so beschreibt der Radiusvector des oscillirenden Theilchens in gleichen Zeiten gleiche Sectoren der Bahn-Ellipse.

3) Steigt der Phasenunterschied A — B auf $\frac{\lambda}{4}$, so gehen die Gleichungen der Strahlen S_1, S_2 und der Bahn in folgende über:

$$S_1 \ldots y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt, \quad S_2 \ldots z = - b \cos \frac{2\pi}{\lambda} vt,$$

$$E \ldots \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1.$$

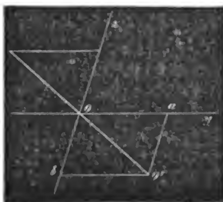
Die Schwingungsrichtungen oy und oz werden dann conjugirte Diameter der Bahn, und die Längen derselben kommen dem Doppelten der Amplituden gleich. Die Bewegung bleibt links herum gehend.

Wenn im Besondern die Polarisationsebenen der componirenden Strahlen auf einander senkrecht stehen, so fallen die Axen der Bahn mit den Schwingungsrichtungen zusammen, indem gleichzeitig die Halbaxen den Amplituden gleich werden. Hieraus ersehen wir denn, daß jede links gedrehte elliptische Schwingung als die Resultante aus zwei geradlinigen Oscillationen betrachtet werden kann, deren Richtungen und Amplituden mit den Richtungen und Größen der halben Bahnaxen zusammenfallen, und deren Phasenverhältnisse durch Gleichungen von der Form S_1 und S_2 ausgedrückt werden. Stehen nicht allein die Polarisationsebenen der componirenden Strahlen auf einander senkrecht, sondern besitzen beide auch gleiche Intensität, so geht die Bahn in einen Kreis über, welchen das Theilchen mit constanter Geschwindigkeit, links herum gehend, während einer Oscillationsdauer beschreibt. Einen Strahl, in welchem solche kreisförmige Schwingungen stattfinden, nennen wir einen links gedrehten, circular-polarisirten Strahl.

4) Indem der Phasenunterschied, von $\frac{\lambda}{4}$ ausgehend, sich dem Werthe $\frac{\lambda}{2}$ nähert, zieht sich die Bahnellipse zusammen, ohne daß dabei der Sinn der Bewegung sich ändert. Wenn endlich $A - B = \frac{\lambda}{2}$ wird, d. h. wenn der eine Strahl dem anderen um eine halbe Wellenlänge voraneilt, so erhalten wir für die Strahlen und die Bahn die Gleichungen:

$$S_1 \ldots y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt, \quad S_2 \ldots z = - b \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt,$$

$$E \ldots \frac{y}{a} + \frac{z}{b} = o.$$



Machen wir also oa = a und ob = b (s. nebenstehende Figur), so ist hiernach die Diagonale oo' in dem Parallelogramm oao'b die gerade Linie, in welche die elliptische Bahn ausartet, und wie in dem Falle 1) ist oo' die Amplitude der resultirenden geradlinigen Schwingung. Für die Gleichung der letzteren finden wir, ähnlich wie in 1):

$$r = \sqrt{a^2 + b^2 - 2\,a\,b\cos\varphi}\ \sin\frac{2\pi}{\lambda}\,vt.$$

Das Minimum der Amplitude, welches erreicht wird, wenn die Polarisationsebenen zusammenfallen, ist $= a - b$, der Differenz der componirenden Amplituden. Stehen die erwähnten Ebenen senkrecht auf einander, so gelangt die Amplitude zu dem Maximum $\sqrt{a^2 + b^2}$, wie in dem Falle 1) bei gleicher Lage jener Ebenen.

5) Ueberschreitet der Phasenunterschied den Werth $\frac{\lambda}{2}$, so kehrt sich der Sinn der Drehung um, indem sich gleichzeitig die Bahn wieder in eine Ellipse ausdehnt. Einen aus solchen rechts herum gehenden Schwingungen bestehenden Strahl nennen wir einen rechts gedrehten, elliptisch polarisirten Strahl. Ist der Phasenunterschied bis zu $\frac{3}{4}\lambda$ gestiegen, so ist die Bahn dieselbe wie im 2) Falle, nur ist die Drehung rechts herum. Auch hier ersehen wir, daß wir einen jeden rechts gedrehten, elliptisch polarisirten Strahl als hervorgehend betrachten können aus zwei geradlinig polarisirten Strahlen, deren Oscillationsrichtungen mit den Axen einer Bahn des ersteren parallel sind, deren Amplituden ferner den Halbaxen jener Bahn gleich kommen, und welche um $\frac{3}{4}\lambda$ gegen einander verschoben sind.

Werden die Amplituden der componirenden Strahlen außerdem gleich, so wird die Bahn der Theilchen ein Kreis, dessen Radius jener Amplitude gleich ist, und den Strahl nennen wir alsdann einen rechts gedrehten, circularpolarisirten Strahl. Ueberschreitet der Phasenunterschied die Größe $\frac{3}{4}\lambda$, so nähert sich wieder, ohne daß sich der Sinn der Drehung ändert, die Ellipse einer Geraden, in welche wirklich die Bahn endlich übergeht, wenn der Phasenunterschied eine ganze Wellenlänge beträgt und somit die Strahlen dieselbe gegenseitige Lage einnehmen, als da ihre Phasen gleich waren.

Als die allgemeinste Art des Lichtes, welches aus der Interferenz gleichfarbiger, geradlinig polarisirter Strahlen hervorgehen kann, ist uns somit das elliptisch polarisirte Licht entgegengetreten. Verfolgt man die Gestalt, welche die Wellenlinie annimmt *), so ergiebt sich als Projection derselben auf die Ebene der Oscillationsbahn eine dieser Bahn gleiche Ellipse. Geht die elliptische Polarisation in eine kreisförmige über, so liegt die Bahn nicht auf einem elliptischen Cylinder, sondern auf einem Rotationscylinder und die Schraubenlinie wird eine der gewöhnlichen Art; ihre Projection also auch gleich dem Oscillationskreise.

Von dem hier aus der Theorie abgeleiteten Hergange können wir uns durch folgende Betrachtung eine Anschauung verschaffen. Bezeichnet **) von den drei auf einander folgenden Buchstaben a b c, b die Mitte einer Querschwingung, a und c die Grenzen, so wird bei einer vollständigen Oscillation die Geschwindigkeit von a nach b zunehmen, bis sie in b am größten ist, dann von b nach c abnehmen, wo sie Null wird, hier sich die Bewegung umkehren, in b ein zweites Maximum

*) S. Beer a. a. O. S. 109.
**) Dove, a. a. O. S. 124.

der Geschwindigkeit erreichen, welche wiederum bei a Null wird, wo die Erscheinung sich wiederholt. Denkt man sich nun der von a nach c hin und von c nach a wieder zurückschwingenden Kugel einen auf die Ebene der Schwingung lothrechten, horizontalen Stoß ertheilt, dem gleich, welcher zuerst das Pendel aus der Lothlinie entfernte, so wird derselbe ihr die Geschwindigkeit mittheilen, welche sie bei dem jedesmaligen Durchgange durch b in Folge des ersten Impulses erhält. Die dadurch hervorgebrachte Bewegung wird dann, wenn der Seitenstoß in den Stellungen a b c b (aus der Papierfläche heraus) erfolgte, durch die folgenden Pfeile angedeutet:



Wäre die Kugel bei dem zweiten Stoße nicht schon in Schwingung gewesen, sondern in b in Ruhe, so würde dieselbe in ganz dieselben Schwingungen versetzt worden sein, wie die sind, welche sie vorher vollführte, der Unterschied wäre nur, daß beide Schwingungsebenen auf einander senkrecht stehen würden. Hier haben wir also einen Körper gleichzeitig angeregt zu zwei gleichen, aber auf einander senkrechten Schwingungen, also den Fall des zusammentreffenden, geradlinig auf einander polarisirten Lichtes. Stellt man den Versuch an, so wird man finden, daß bei Ertheilung des Stoßes in der Stellung a die Kugel in Kreisschwingungen geräth. Trifft der Stoß die Kugel in b, so wird eine geradlinige Schwingung entstehen, deren Schwingungsebene um einen halben Rechten gegen die frühere geneigt ist, trifft er sie hingegen in c, so entsteht wieder eine Kreisbewegung, aber in entgegengesetztem Sinne als bei a. Stößt man die Kugel aber erst bei ihrer zweiten Ankunft in b an, so wird eine geradlinige Schwingung entstehen und zwar in einer um einen halben Rechten nach der anderen Seite geneigten Ebene, also in einer auf jener vorher entstandenen Schwingungsebene senkrechten Richtung. Der ertheilte Stoß ist nichts anderes, als der Zustand einer schwingenden Kugel in der Mitte ihrer Schwingung. Dasselbe wird also eintreten, wenn die Kugel gleichzeitig zu auf einander senkrechten Schwingungen angetrieben wird. Nennen wir die Zeit, welche verflossen ist, wenn der von a ausgegangene Körper wieder nach a zurückkommt, eine ganze Schwingung, so wird bei seiner ersten Ankunft in b ein Viertel dieser Zeit verflossen sein, bei seiner Ankunft in c die Hälfte, bei seiner zweiten Ankunft in b drei Viertel. Da nun die Anregung in der zweiten Schwingung diejenige war, welche er nach einem Viertel seiner Schwingungszeit erhält, so war der Gangunterschied beider zusammentreffenden Schwingungen: bei dem ersten Zusammentreffen in $b = o$, bei dem Zusammentreffen in $c = \frac{1}{4}$, bei dem zweiten Zusammentreffen in $b = \frac{1}{2}$, bei dem Zusammentreffen in a endlich $= \frac{3}{4}$.

Wenden wir diese Betrachtungen auf das Zusammentreffen polarisirter Lichtstrahlen an, so folgt unmittelbar dieses. Zwei auf einander senkrecht polarisirte Wellensysteme erzeugen bei ihrem Zusammentreffen, wenn ihr Gangunterschied

Null und wenn er eine halbe Welle ist, nicht Coincidenz und Interferenz, Hell und Dunkel, sondern ein geradlinig polarisirtes Licht, dessen Polarisationsebene den Winkel zwischen jenen beiden Polarisationsebenen halbirt, und zwar, wenn dies Halbiren im ersten Falle auf der linken Seite geschieht, dann im zweiten Falle auf der rechten, und umgekehrt. Ist hingegen der Gangunterschied beider Wellensysteme ein Viertel, oder drei Viertel, so muß Licht entstehen, welches weder die Eigenschaften des natürlichen, noch die des polarisirten hat. Es versteht sich von selbst, daß, so wie in unserem Beispiele es vollkommen gleichgültig war, wie oft das Pendel schon geschwungen hatte, ehe es den zweiten Stoß erhielt, es eben so hier ohne Einfluß auf die Erscheinung ist, um wie viel ganze Oscillationen sich beide Wellensysteme außerdem unterscheiden. Wenn der zweite Stoß nicht an den Stellen a, b und c ertheilt wird, sondern zwischen a und b, oder zwischen b und c, so entstehen statt kreisförmiger Bewegungen alle zwischen Kreis und gerade Linien fallenden Ellipsen. Unterscheiden sich also die zusammentreffenden polarisirten Wellensysteme um einen Theil einer Schwingung, welcher nicht gerade ein Viertel ist, so wird das entstehende Licht Eigenschaften haben, welche zwischen denen des polarisirten und denen jenes vorher erwähnten liegen, mit allen verschiedenen Graden der Annäherung an das eine und an das andere.

Durch solche Betrachtungen wurde Fresnel zu dem Schlusse geführt, daß es außer dem gewöhnlich oder geradlinig polarisirten Lichte noch zwei andere Arten der Polarisation geben müsse, die circulare und die elliptische, deren Ableitung aus der Vibrationstheorie wir oben gegeben haben *).

Setzt man ein Seil in wellenförmige Bewegung und zwar so, daß die Wellen in einer senkrechten Ebene liegen, theilt dann dem Seile durch einen auf diese Ebene rechtwinkeligen Stoß eine Seitenbewegung mit, so stellt das Seil im Allgemeinen eine elliptische Schraubenlinie dar und veranschaulicht somit die Bahn des elliptisch polarisirten Lichtes.

Wie tritt nun derartiges Licht in die Erscheinung? Arago hat zuerst (1811) **) ein hierher gehöriges Phänomen in senkrecht auf die Axe geschnittenen Bergkrystallplatten beobachtet. Biot hat dann dieselbe Erscheinung in Flüssigkeiten und selbst in Dämpfen wahrgenommen. Die Erscheinung ist folgende:

Man stelle den Zerleger des Polarisationsapparates so, daß das Gesichtsfeld dunkel ist, bringe dann eine senkrecht auf die Axe geschnittene Bergkrystallplatte von etwa 1mm Dicke zwischen Polarisator und Zerleger, so daß das von dem Polarisator kommende geradlinig polarisirte Licht parallel der Axe hindurchgehen muß, so bleibt das Licht nach der Durchstrahlung zwar noch polarisirt, aber seine Polarisationsebene hat eine andere Lage erhalten: die Platten von gewissen Exemplaren drehen dieselbe von rechts nach links und Platten von anderen Exemplaren umgekehrt von links nach rechts in Bezug auf die ursprüngliche Polarisationsebene. Läßt man auf den Polarisator nach und nach alle Farben des Spectrums fallen, so erhält man für jede Farbe eine andere Lage der Polarisationsebene; läßt man gewöhnliches, weißes Licht auffallen, so bemerkt man bei der ersten Stellung des Zerlegers eine Färbung des Plättchens; dreht man den Zerleger, so geht die Farbe des Bildes in eine andere über, wobei der Farbenwechsel der Ord-

*) Ann. de Chim. et de Phys. Vol. XXVIII. p. 154.
**) Mém. de l'Instit. Vol. XII. p. 115; XIII. p. 218.

nung der Farben im Spectrum folgt, also Roth durch Gelb in Grün, Blau und Violett übergeht, und zwar muß man bei gewissen Exemplaren des Bergkrystalls rechts, bei anderen links drehen, um den Wechsel der Farben in der angegebenen Folge zu haben. Bei keiner Stellung des Zerlegers ist das Bild ganz verschwunden und wie das auffallende Licht ungefärbt *).

Indem man auf diese Weise mit Platten von verschiedener Dicke operirte, welche von demselben Exemplare genommen waren, und dann die Versuche mit Platten von verschiedenen Exemplaren wiederholte, kam man zu folgenden Resultaten:

1) Für alle Platten von demselben Krystalle ist die Drehung der Polarisationsebene der Dicke proportional. Eine Platte kann also auch so dick sein, daß eine Drehung von einem oder mehreren Halbkreisen hervorgebracht wird, mithin ein vollkommenes Zusammenfallen der neuen Polarisationsebene mit der ursprünglichen eintreten muß.

2) In derjenigen Quarzvarietät, welche nach Hauy Plagiëder heißt, bestimmt der Sinn, in welchem die Facetten geneigt sind, immer die Richtung der Drehung der Polarisationsebene. Es kommen nämlich unsymmetrische trapezförmige Flächen um den Scheitel der doppeltsechsseitigen Pyramide vor und diese Krystallflächen bilden um die Axe der Pyramide entweder eine rechts oder links gewundene Schraubenlinie. Diese Beziehung zwischen den optischen Eigenthümlichkeiten der Krystalle und der Krystallform ist von Herschel entdeckt worden **).

3) Ein Krystall mag von rechts nach links oder von links nach rechts drehen, immer ist dieselbe Dicke mit ziemlich derselben Drehung verbunden.

4) Legt man zwei Platten über einander, welche die Drehung im entgegengesetzten Sinne bewirken, so ist die Wirkung, welche sie hervorbringen, ziemlich gleich derjenigen, welche eine einzige Platte hervorbringen würde, die eine Dicke gleich ihrem Unterschiede hat und im Sinne der dickeren Platte wirkt.

5) Die verschiedenen Farben des Spectrums erleiden in ihrer Polarisationsebene um so größere Drehungen, je brechbarer sie sind. Für eine Bergkrystallplatte von 1^{mm} Dicke fand Biot folgende Resultate:

Benennung des einfachen Strahles	Drehungsbogen
Aeußerstes Roth	17° 29′ 47″
Grenze des Roth und Orange	20 28 47
" " Orange und Gelb	22 18 49
" " Gelb und Grün	25 40 31
" " Grün und Blau	30 2 45
" " Blau und Indigo	34 34 18
" " Indigo und Violett	37 51 58
Aeußerstes Violett	44 4 58

*) Pogg. Ann. Bd. XXIII. S. 213.
**) Transact. of the Cambridge Soc. T. I. p. 43. Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 288.

Für die mittleren Strahlen kann man demnach als Drehungsbogen setzen: Roth 19°, Orange 21°, Gelb 24°, Grün 28°, Blau 32°, Indigo 36° und Violett 41°. Biot hat allgemein den Drehungsbogen $x = k . \lambda^2 t$ gesetzt, wo $k = \frac{18^0,414}{(6,8614)^2}$, λ die Wellenlänge der Lichtsorte, t die Dicke der Platte in Millimetern ausdrückt.

Da alle verschieden brechbaren Strahlen verschiedene Polarisationsebenen haben, so muß offenbar ein Bündel weißen polarisirten Lichtes, welches auf eine Bergkrystallplatte fällt, nach seinem Ausstrahlen mehr oder weniger lebhafte Farben darbieten, wenn man es mittelst des doppeltbrechenden Prismas oder mittelst des Turmalins betrachtet. Die Zusammensetzung seiner Farbenstufen wird sich aus den vorhergehenden Angaben ableiten lassen. Giebt man z. B. dem Zerleger die Stellung, daß bei homogenem blauen Lichte das Bild die größte Helligkeit haben würde, so wird im weißen Lichte das Bild sich vorherrschend blau zeigen, aber auch das daneben liegende Grün und Violett wird sich geltend machen. — Brewster *) hat die Erfahrung gemacht, daß die verschiedenen Lagen, aus denen gewisse Amethystexemplare bestehen, mit entgegengesetzten Eigenschaften begabt sind, und abwechselnd die Polarisationsebene in dem einen oder in dem anderen Sinne drehen. Hieraus ergiebt sich eine Reihe von Streifen, welche auf unzählige Arten zusammengesetzt und verschlungen sind, sobald man ein Bündel weißen polarisirten Lichtes durch eine passend geschnittene Amethystplatte gehen läßt. — Nach Dove **) giebt es auch krystallographisch unterscheidbare Bergkrystalle, in welchen die verschiedenen Lagen nicht neben einander im Sinne der Axe, sondern hinter einander liegen, in welchen also die Polarisationsebene sich zuerst in einem, dann im entgegengesetzten Sinne dreht. Auch das Doppelsalz aus Traubensäure und Natron-Ammoniak gehört nach Pasteur, der überhaupt die hier fraglichen Punkte: ob alle die Substanzen, welche als Lösungen die Polarisationsebene ablenken, hemiëdrische Krystallformen haben und ob die Hemiëdrie immer auf das Vorhandensein der drehenden Eigenschaft deute? am ausführlichsten untersucht hat, hierher ***). Alle Krystalle des Asparagins sind hemiëdrisch und besitzen drehende Eigenschaften, namentlich dreht Asparagin in Wasser oder Alkalien gelöst links, in Mineralsäuren gelöst rechts. Eben so besitzt die Asparaginsäure Drehvermögen, desgleichen die Apfelsäure; es existiren aber auch Krystalle mit Hemiëdrie und selbst nicht überdeckbarer, welche keine drehende Eigenschaften besitzen, z. B. ameisensaures Strontian.

Biot und Seebeck ****) haben zuerst entdeckt, daß Flüssigkeiten und sogar Gase die drehende Eigenschaft besitzen. Die Flüssigkeiten, welche rechts drehen, sind: Kampherlösungen in Weingeist, Zuckerlösungen, Dextrin, (welches davon seinen Namen erhalten hat), Weinsteinsäurelösungen, Citronenöl, Ricinusöl, Crotonöl, Nicotin mit Salzsäure in Alkohol gelöst (?), Cinchonin

*) Edinb. Transact. T. IX. p. 139.

**) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 607.

***) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXIV. Dcbr. 1848; Compt. rend. T. XXVIII. No. 15; T. XXXI. p. 480. Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 127; Bd. LXXXII. S. 144.

****) Ann. de Chim. et de Phys. T. X. p. 63 Mém. de l'Acad. T. II. p. 91. Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 165.

allein, desgleichen mit Oxalsäure, oder Phosphorsäure, oder Salpetersäure in Alkohol gelöst, Chinidin allein, desgleichen mit Salpetersäure, oder Phosphorsäure, oder Salzsäure, oder Schwefelsäure in Alkohol gelöst, Narcotin mit Schwefelsäure in Wasser gelöst; diejenigen, welche links drehen, sind: Terpentinöl, Auflösungen von arabischem Gummi, Lorbeeressenz, Linksweinsäure, Oleum succini albiss., Nicotin allein oder mit Salzsäure in Alkohol gelöst (?), Santonin in Alkohol, Phloridzin in Alkohol, Chinin allein, oder mit Salpetersäure, oder mit Phosphorsäure, desgleichen valeriansaures Chinin, salzsaures Chinin in Alkohol gelöst, und schwefelsaures Chinin in verdünnter Schwefelsäure gelöst, Brucin in Alkohol gelöst, essigsaures Morphin, desgleichen salzsaures Codein, beides in Wasser gelöst, Ol. cubebar. aeth. in Alkohol gelöst, Ol. Valerian. aeth. in Aether gelöst, Balsamum Copaivae in Aether mit Alkohol gelöst *). In allen diesen Substanzen treten genau dieselben Erscheinungen auf, wie im Bergkrystalle; sie unterscheiden sich nur durch die Intensität. Bei Lösungen ist die Drehung dem Sättigungsgrade proportional und bei derselben Sättigung der Dicke der Flüssigkeitsschicht. In folgender Tabelle sind die vergleichbaren Resultate zusammengestellt, welche Biot für dieselbe Art rothen Lichtes gefunden hat, indem die Platten sämmtlich durch Rechnung auf 1 Millimeter Dicke reducirt sind:

	links		rechts
Bergkrystall	18° 24′ 50″	Bergkrystall	18° 24′ 50″
Terpentinöl	0 16 16	Citronöl	0 26 10
„ (andere Art)	0 15 4	Concentr. Zuckerlösung	0 33 14
„ (gereinigt)	0 17 10		
Auflösung { Kampher künstlich 1753, Weingeist 17359 }	0 1 5		

Die Traubensäure ist eine Verbindung von zwei Säuren, von denen die eine rechts, die andere links dreht **).

Wie es scheint, bleiben diese Verhältnisse ziemlich dieselben für die verschiedenen Farben, so daß ein polarisirter weißer Strahl beim Durchgehen durch alle diese Substanzen beinahe dieselben Folgen der Farbenstufen giebt. Der Apparat, dessen man sich bei dieser Art von Untersuchungen bedient, besteht in einer metallenen oder gläsernen Röhre von hinreichender Länge, welche an beiden Enden mit parallelen Glasplatten verschlossen ist. Diese Röhre wird mit der zu prüfenden Flüssigkeit gefüllt, und dann läßt man nach der Richtung ihrer Axe ein Bündel polarisirten Lichts, das von einer Flamme kommt, durch sie hindurch gehen, welches man nach seiner Ausstrahlung mittelst des Zerlegers analysirt. Der Dove'sche Apparat ist hierzu bequemer als der Nörremberg'sche, weil man in demselben die Röhre bequem parallel dem prismatischen Träger anbringen kann, indem man sie nach Entfernung aller Ständer außer S_2 und S_3 auf diesen — in passende Entfernung gestellt — in gabelförmige Stützen legt. Vor dem Auflegen der Röhre stellt man den Zerleger so, daß das Gesichtsfeld dunkel

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 531.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 127.

ist *). Wenn man die Reinheit einer dieser Flüssigkeiten trübt, indem man sie mit einer anderen Flüssigkeit vermischt, welche entweder gar keine Wirksamkeit hat, oder dieselbe, oder die entgegengesetzte, so ist die Totalwirkung stets gleich der Summe oder der Differenz der einzelnen Wirkungen, welche durch die Bestandtheilchen jeder einzelnen dieser Flüssigkeiten hervorgebracht worden wären. Dies Gesetz besteht noch, wenn die Bestandtheile chemischen Wirkungen unterworfen sind, und sogar, wenn die Flüssigkeiten in Dampfform übergehen, wie Biot gezeigt hat, indem er in einer langen Röhre Versuche über den Dampf vom Terpentinöl anstellte.

Die eben angegebene Drehung der Polarisationsebene läßt sich nach Faraday's Entdeckung auch durch den galvanischen Strom hervorbringen und zwar in den sonst nicht drehenden Flüssigkeiten und überhaupt in allen durchsichtigen festen und flüssigen Körpern, jedoch nur schwach in doppeltbrechenden Substanzen. Man steckt dann die Röhre, welche die Flüssigkeit enthält in eine Drahtrolle, wie man dergleichen bei den Inductionsversuchen gebraucht, und läßt, während sonst alles, wie vorher am Polarisationsapparate geordnet ist, einen elektrischen Strom durch dieselbe hindurchgehen. Das ursprünglich dunkle Gesichtsfeld wird, so wie der Strom den Draht durchläuft, hell, und um das Gesichtsfeld wieder dunkel zu erhalten, muß man entweder rechts oder links drehen. Die Drehung erfolgt in dem Sinne des positiven Stromes, also in der Richtung, in welcher der magnetische Strom einen Eisenkern umkreist haben würde, der sich an der Stelle des durchsichtigen Körpers befände, und erfolgt daher in umgekehrter Richtung, so wie man den Strom umkehrt. Auf schon an sich drehende Flüssigkeiten ist die Wirkung des elektrischen Stromes verstärkend oder schwächend, je nachdem beide in demselben oder in entgegengesetztem Sinne wirken, also überhaupt gleich der algebraischen Summe beider **). E. Becquerel ***), Bertin ****) und Mattbießen *****) haben durch ihre Untersuchungen in Betreff der Drehung der Polarisationsebene des Lichts durch Magnetismus nicht unwesentliche Beiträge geliefert, auf die wir hier jedoch nur verweisen können.

Will man schwache Drehungen erkennen, so schiebt man noch eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte von bekannter Dicke und bekannter Drehung ein. Die Abweichung der Beobachtung von dem Resultate, welches die Quarzplatte allein geben würde, ist dann das Resultat der Drehung des der Untersuchung unterworfenen Körpers.

Es käme nun darauf an, diese Erscheinungen als auf circularer Polarisation beruhend nachzuweisen. Dies hat Fresnel †) zuerst gethan. Wir haben oben die nöthigen Nachweise gegeben über Zusammensetzung und Zerlegung der polarisirten Strahlen, namentlich steht zunächst theoretisch fest, daß jeder geradlinig polarisirte Strahl in zwei andere zerlegt gedacht werden kann, welche senk-

*) Vergl. auch Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 640.

**) Pogg. Ann. Bd. LXVIII. S. 105; Bd. LXX. S. 283. Philos. Transact. (1846) p. 1.

***) Ann. de Chim. et de Phys. T. XVII. p. 437.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 143 und Bd. LXXV. S. 420.

*****) Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 65.

†) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXVIII. p. 147; T. XXIX. p. 175.

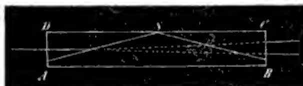
recht zu einander polarisirt sind, deren Polarisationsebenen mit der ursprünglichen Polarisationsebene des Strahles Winkel von + 45⁰ und — 45⁰ bilden und von denen jeder die halbe Intensität des ursprünglichen hat; ferner daß jeder geradlinig polarisirte Strahl in zwei andere zerlegt werden kann, welche dieselbe Polarisationsebene haben, die halbe Intensität des ursprünglichen besitzen, zwischen denen aber ein Gangunterschied von einem Viertel einer Wellenlänge in der Weise stattfindet, daß der eine Strahl dem ursprünglichen um ein Achtel vorauseilt, der andere um eben so viel nachfolgt.

Denken wir uns einen geradlinig polarisirten Strahl S, der auf eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte fällt, so können wir uns dafür zwei Strahlen S_{I} und S_{II} denken, welche die ersten eben angegebenen Bedingungen erfüllen, von denen also dem einen eine um + 45⁰, dem anderen eine um — 45⁰ von der ursprünglichen verschiedene Polarisationsebene zukommt. Jeden dieser Strahlen denken wir uns wieder zerlegt in zwei Strahlen, welche die zweiten eben angegebenen Bedingungen erfüllen, also S_{I} in S_1 und S_2 um $\frac{1}{4}\lambda$ verschiedene, und S_{II} in s_1 und s_2 ebenfalls um $\frac{1}{4}\lambda$ verschiedene. Von den so erhaltenen vier gleich starken Wellensystemen stehen je zwei senkrecht auf einander. Denken wir nun diese kreuzweis mit einander zusammengesetzt, so erhalten wir aus S_2 und s_1 einen rechts gedrehten circular polarisirten Strahl und aus S_1 und s_2 eben so einen links gedrehten.

Jetzt nahm Fresnel an, daß sich diese beiden circular polarisirten Strahlen in der Quarzplatte mit ungleicher Geschwindigkeit weiter bewegen, und zwar bei dem rechts drehenden Quarze der eine, bei dem links drehenden der andere schneller. So wie beide Strahlen wieder in die Luft treten und gleiche Geschwindigkeit annehmen, setzen sie sich zu einem einzigen geradlinig polarisirten Strahle zusammen, dessen Polarisationsebene aber mit der des ursprünglichen Strahles nicht zusammenzufallen braucht. Ob dies geschieht oder nicht, wird von dem Gangunterschiede abhängen, und dieser wird wieder durch die Dicke der Quarzplatte bedingt sein.

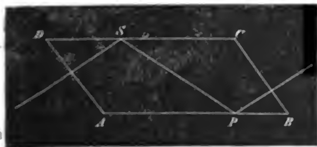
Die Erscheinung läßt sich, wie wir sehen, unter diesen Annahmen wohl erklären; es kam aber darauf an nachzuweisen, daß diese Zerlegungen in der That auch eintreten. Diesen Nachweis hat Fresnel durch das Experiment zu liefern versucht.

Das Prisma oder der Cylinder (s. beistehende Figur) ABCD ist aus drei Prismen von Bergkrystall zusammengesetzt, von denen jedes für sich geschnitten ist, und die nachher sorgfältig zusammengefügt sind. Das in der Mitte ASB hat an der Spitze S einen Winkel von 152⁰, ist von einem Quarzkrystalle genommen, welcher z. B. eine Drehung von rechts nach links bewirkt, und seine beiden Seitenflächen AS und SB haben gegen die Axe gleiche Neigung von 14⁰. Die beiden äußeren DAS und CBS sind von einem Quarzkrystalle genommen, welcher eine Drehung im entgegengesetzten Sinne bewirkt, also in unserem Falle von links nach rechts. Ihre Seiten AD und BC sind genau



senkrecht gegen die Axe und ihre Seiten AS und BS sind unter 14° geneigt, so daß bei Aneinanderlegung aller drei Prismen die optischen Axen aller drei Prismen in derselben Richtung liegen. Läßt man jetzt in der Richtung der Axe einen geradlinig polarisirten Strahl hindurch gehen, so sollte dieser nach den Erscheinungen und den Gesetzen der Doppelbrechung keine Spaltung erleiden. Fresnel's Annahme zufolge müßte jedoch dieser Strahl in zwei circulare und entgegengesetzte Strahlen zerlegt werden, welche sich ungetrennt, aber mit einem Gangunterschiede von $^1/_4$ Wellenlänge bewegen. Ist dies wirklich der Fall, so kommen diese beiden Strahlen mit verschiedenen Geschwindigkeiten auf die schiefe Fläche AS, erleiden deshalb verschiedene Brechungen und durch das Prisma ASB gehen nun zwei Strahlen hindurch. Der Strahl, welchem die größere Geschwindigkeit zukam, wird am wenigsten, der andere am stärksten gebrochen. Da das Prisma ASB dem Prisma ADS entgegengesetzt dreht, so werden die beiden Strahlen ihre Rolle vertauschen, der langsamere wird der schnellere und der schnellere der langsamere, folglich werden sie beim Eintritte in das Prisma BCS, da hier die Drehung wieder entgegengesetzt wird und auf der schiefen Fläche BS wiederum eine Brechung stattfindet, noch mehr von einander getrennt und mithin müßten beim Austreten aus der Fläche BC zwei divergirende Strahlen zur Erscheinung kommen. Dies tritt nun wirklich ein; folglich übt der Bergkrystall in der Richtung der Axe eine doppelte Brechung aus, und diese doppelte Brechung gleicht in nichts derjenigen, welche gewöhnlich im Quarz und in den anderen Krystallen vor sich geht; denn die beiden ausstrahlenden Bündel geben weder das eine noch das andere irgend eine Spur von Polarisation, wenigstens giebt jedes von ihnen immer zwei weiße und gleich helle Bilder, wenn man sie mit dem doppeltbrechenden Prisma analysirt. Diese merkwürdige Erscheinung ist der directe Beweis, daß die im entgegengesetzten Sinne kreisförmig polarisirten Bündel sich nicht mit derselben Geschwindigkeit in der Richtung der Axe des Bergkrystalls fortpflanzen, und die beiden ausstrahlenden Bündel sind nichts weiter, als die beiden im entgegengesetzten Sinne circular polarisirten Bündel, aus denen das einfallende Bündel besteht.

Fresnel machte zweitens noch folgenden Versuch: ABCD (s. beistehende Figur) ist ein Parallelepipedum von Glas, dessen spitze Winkel ungefähr 54° und dessen stumpfe Winkel folglich 126° betragen. Ein geradlinig polarisirtes Lichtbündel, welches senkrecht durch die Oberfläche BC eintritt, erleidet in P und S zwei vollständige Reflexionen, da das Brechungsverhältniß etwa 1,51 beträgt und der Einfallswinkel 54° groß ist; auf der Fläche AD tritt es aber wieder senkrecht aus.



Wenn die Polarisationsebene dieses Lichtbündels einen Winkel von 45° mit der Ebene der doppelten Reflexion macht, so scheint es, als ob nach dem Ausstrahlen völlige Entpolarisirung stattfände, d. h. das mit dem doppeltbrechenden Prisma analysirte Lichtbündel müßte in jeder Richtung zwei weiße und gleich starke Bilder geben. Die eintretende Entpolarisirung ist jedoch nur scheinbar, denn das austretende Lichtbündel unterscheidet sich von einem natürlichen durch zwei wesentliche Merkmale: 1) Es erhält seine Polarisation in

einer Ebene wieder, sobald man es in einem zweiten dem ersten ähnlichen Parallelepipedum zwei neuen totalen Reflexionen unter demselben Winkel unterwirft, welches auch die Richtung der zweiten Reflexionsebene gegen die erste sein mag. Wenn die beiden Ebenen zusammenfallen, so fällt die neue Polarisationsebene auch mit der ersten zusammen. — 2) Beim Durchgange durch Krystallplättchen entwickelt das Lichtbündel Farbenstufen, welche andere Charaktere haben und anderen Gesetzen unterworfen sind, als diejenigen, welche durch das natürliche Licht gegeben werden. Das Lichtbündel, um das es sich hier handelt, ist kreisförmig polarisirt; es ist identisch mit einem der Lichtbündel, welche wir in dem vorhergehenden Versuche mit dem dreifachen Quarzprisma erhalten haben. Um diese Identität zu beweisen, darf man nur in dem Glasparallelepipedum die zwei aus dem dreifachen Prisma ausstrahlenden Bündel der doppelten totalen Reflexion unterwerfen. Jedes von ihnen giebt dann ein polarisirtes Bündel; aber für das eine fällt die Polarisationsebene 45° rechts von der Reflexionsebene, für das andere 45° links. Dies zeigt klar, daß sie im entgegengesetzten Sinne kreisförmig polarisirt sind. Es erklärt sich aber der Hergang dadurch, daß der auffallende Strahl in zwei auf einander senkrecht polarisirte Strahlen zerlegt wird, von denen der eine seine Schwingungen in der Einfallsebene, der andere senkrecht dazu ausführt. Nehmen wir nun an, daß durch jede der beiden inneren Reflexionen der zweite dieser Theilstrahlen um $^1/_8$ Wellenlänge, also im Ganzen um $^1/_4$ Wellenlänge, verzögert wird, so müssen sich beide Strahlen zu einem circular polarisirten Strahle zusammensetzen. Läßt man diesen Strahl durch ein zweites, ganz gleiches Parallelepipedum gehen, so tritt durch die beiden hier stattfindenden totalen Reflexionen eine abermalige Verzögerung von $^1/_4$ Wellenlänge ein, so daß der Gangunterschied auf $^1/_2$ Wellenlänge steigt. Man erhält geradlinig polarisirtes Licht. Geht der Strahl durch ein drittes Parallelepipedum, so wird der Gangunterschied $^3/_4$ Wellenlänge, das Licht ist wieder circular polarisirt, aber im entgegengesetzten Sinne, als beim Austreten aus dem ersten Parallelepipedum.

Nachdem somit feststeht, daß ein circular polarisirter Strahl entsteht, wenn der Phasenunterschied der beiden componirenden Strahlen $^1/_4$ Wellenlänge beträgt, dieselben auf einander senkrecht stehen und gleiche Intensität haben, so wird man die lineare Polarisation auf folgende Weise in circulare umwandeln können. Die um die Zapfen n und o des Dove'schen Polarisationsapparates drehbaren Arme f und g enthalten Blättchen von zweiaxigem Glimmer von solcher Dicke, daß sie, wenn sie aus der Lage, in welcher sie das lineare Licht unverändert lassen, um 45° links oder rechts von der Ebene der primitiven Polarisation gedreht sind, zwischen den beiden durch Doppelbrechung in diesen Blättchen entstehenden Strahlen gerade einen Gangunterschied von $^1/_4$ Wellenlänge hervorbringen.

Biegen beide Blättchen zur Seite, so wird das geradlinig polarisirte Licht geradlinig analysirt. Wird S vorgelegt, so wird dann das geradlinig polarisirte Licht circular polarisirt; wird f zur Seite gebogen und g vorgelegt, so wird circular polarisirtes Licht linear analysirt; liegen beide Blättchen vor, wie in der Abbildung des Apparates, so wird circular polarisirtes Licht circular analysirt. Der Hauptschnitt des Glimmerblättchens ist auf der Fassung desselben angegeben.

So wie wir in Vorstehendem das thatsächliche Vorhandensein circular polarisirten Lichtes nachgewiesen haben, müssen wir ein Gleiches für das aus der theoretischen Ableitung nach der Vibrationstheorie sich ergebende elliptisch polarisirte Licht thun. Zunächst ist klar, daß das elliptisch polarisirte Licht viel häufiger sein muß, als das circular polarisirte; denn beide entstehen aus zwei senkrecht auf einander polarisirten Strahlen, das circular polarisirte Licht ist aber nur ein specieller Fall und das elliptisch polarisirte das allgemeine Resultat. Das Licht wird nämlich elliptisch polarisirt, wenn in diesem Falle der Gangunterschied von o, $\frac{1}{2}\lambda$, λ verschieden ist, was auf unendlich viele Arten sein kann. Hierzu kommt noch, daß die beiden componirenden Strahlen keine gleiche Amplitude oder Intensität zu haben brauchen, was bei dem circular polarisirten Lichte sein muß, bei welchem der Gangunterschied genau $\frac{1}{4}$ oder $\frac{3}{4}\lambda$ beträgt. In allen Fällen also, wo ein geradlinig polarisirter Strahl in zwei auf einander senkrecht polarisirte Strahlen zerlegt wird, deren Gangunterschied kein Vielfaches einer halben Wellenlänge ist, können elliptisch polarisirte Strahlen entstehen.

Das elliptisch polarisirte Licht, welches selbstverständlich von natürlichem eben so wie von geradlinig und circular polarisirtem Lichte verschieden sein muß, erkennt man daran, daß man durch ein doppeltbrechendes Prisma oder einen Turmalin stets zwei an Helligkeit ungleiche Bilder erhält, daß bei einer Drehung des Prismas die Helligkeit des einen Bildes bis zu einem Maximum steigt, die des anderen bis zu einem Minimum abnimmt, ohne — wie bei dem geradlinig polarisirten Lichte — gänzlich zu verschwinden, und daß bei einer vollen Umdrehung jedes Bild zweimal im Maximum und zweimal im Minimum der Helligkeit auftritt.

Am häufigsten ist die elliptische Polarisation bei der Reflexion an metallischen Oberflächen, denen Malus — wie wir im Eingange dieses Artikels gesehen haben — die Polarisationsfähigkeit ganz abzusprechen geneigt war. Läßt man nämlich einen geradlinig polarisirten Strahl auf eine polirte Metallfläche so fallen, daß seine Polarisationsebene gegen die Einfallsebene unter einem Winkel von 45°, 135°, 225° oder 315° geneigt ist, so wird der Strahl am stärksten elliptisch polarisirt; je mehr sich die Neigung der beiden Ebenen von diesen Winkeln entfernt, um so schwächer ist die Polarisation, so daß sie bei 0°, 90°, 180°, 270° im Minimum steht.

Die Erklärung ist nach den oben gegebenen theoretischen Ableitungen die, daß der auffallende Strahl durch die Reflexion in zwei auf einander senkrechte, geradlinig polarisirte Strahlen zerlegt ist, von denen der eine seine Schwingungen in der Reflexionsebene, der andere senkrecht darauf vollzieht, denen aber ein die elliptische Polarisation bedingender Gangunterschied eingeprägt ist, wobei die beiden Strahlen zugleich eine Schwächung in ihren Amplituden erleiden. Eilt hierbei der in der Einfallsebene polarisirte, mithin auf ihr senkrecht schwingende Strahl dem anderen voraus, so nennt man den Gangunterschied positiv und Körper, bei welchen dies der Fall ist, Körper mit positiver Reflexion, während man im entgegengesetzten Falle den Gangunterschied negativ bezeichnet und die Körper Körper mit negativer Reflexion nennt.

Es zeigt sich nämlich die elliptische Polarisation auch in anderen Fällen, als

den eben angegebenen Reflexionen an metallischen Flächen. Ein senkrecht auf ein Glimmerblättchen fallender geradlinig polarisirter Strahl wird in zwei auf einander senkrecht polarisirte Strahlen zerlegt, deren Schwingungsebenen den Hauptschnitten parallel sind. Läßt man hier den polarisirten Strahl in einem anderen Azimuth als 45° gegen diese Hauptschnitte auffallen, so erhalten die beiden Theilstrahlen ungleiche Intensität, und findet zwischen ihnen der gehörige Gangunterschied statt, so bilden sie elliptisch polarisirtes Licht. Man kann daher an dem Dove'schen Apparate die Erscheinungen der elliptischen Polarisation hervorbringen, wenn man die oben angegebenen Glimmerblättchen anders als unter 45° oder 135° stellt. — Eben so giebt, wie Airy zuerst zeigte, der Bergkrystall elliptisch polarisirtes Licht, wenn man den einfallenden Strahl unter einem spitzen Winkel zur Axe, der aber 22° nicht überschreiten darf, — also namentlich weder parallel, noch senkrecht zu derselben — den Krystall durchlaufen läßt. — Nach Jamin endlich *) tritt auch bei Flintglas, bei Krystallen, selbst bei Flüssigkeiten, namentlich Oelen, elliptische Polarisation ein. Haughton **) hat durch neue Versuche Jamin's Resultate bestätigt, namentlich zeigt er, daß, wenn geradlinig polarisirtes Licht von einem durchsichtigen Körper zurückgeworfen wird und der Einfallswinkel von 0° bis 90° wächst, das Axenverhältniß der Ellipse, in welcher sich die Aethertheilchen im reflectirten Lichte bewegen, von ∞ (bei 0°) bis zu einem Minimum (bei der Hauptincidenz) abnimmt und wieder bis zu ∞,(bei 90°) zunimmt; ferner daß sich jener Minimumswerth mit der Annäherung des Polarisationsazimuths an einen bestimmten Werth vermindert, welchen Werth er die Circulargrenze nennt. Folgende Körper gehören hierher, wobei wir den Haupteinfallswinkel zugleich angeben:

Mit positiver Reflexion:

Turmalin	58°,25
Kalkspath, senkrecht zur Axe geschnitten	59
Topas	58,36
Quarz	56,50
Terpentinöl	55,36
Absoluter Alkohol	53,38

Mit negativer Reflexion:

Flußspath	55,15
Hyalith	54,12
Flüssiges doppelt chromsaures Kali (1 : 6)	53,24
„ Chlorzink (2 : 3)	54,30
„ basisch essigsaures Bleioxyd, gesättigt	53,27
„ schwefelsaures Natron (1 : 4)	53,28.

Neutral, d. h. unter dem Polarisationswinkel einfallendes Licht in gewöhnlicher Weise polarisirend, haben sich bis jetzt herausgestellt: Senkrecht zur Octaëderaxe geschnittener Alaun 55° und Glycerin 54°,42.

Giebt man beim Fresnel'schen Parallelepipedum der Schwingungsebene des einfallenden Strahles eine andere Neigung als 45° gegen die Ebene der totalen

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 248; Bd. LXXXII. S. 149. Ergänzungsbd. III. S. 232 u. 269. Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXIX u. XXXI.

**) Phil. Magac. [4] T. VIII. p. 507.

Reflexion, so erhält man auch elliptisch polarisirtes Licht, weil dann, ungeachtet eines Gangunterschiedes von ein Viertel-Wellenlänge, die Amplituden der beiden Schwingungen ungleich werden. Beim Durchgange durch ein zweites Parallelepipedum wird dies Licht zwar wieder geradlinig polarisirt, unterscheidet sich jedoch von dem circular polarisirten dadurch, daß seine jetzige Schwingungsebene mit der Ebene der letzten Zurückwerfungen einen Winkel bildet, der kleiner als 45° ist.

Läßt man einen elliptisch polarisirten Strahl von einer Stahlplatte unter 75° reflectiren, so wird er wieder geradlinig polarisirt, aber die Neigung der Schwingungsebene gegen die Reflexionsebene ist anders, als 45°.

Zur künstlichen Herstellung elliptisch polarisirten Lichtes dient der Babinet'sche Compensator, dessen nähere Erläuterung uns jedoch hier zu weit führen würde*). Ueber den Compensator von Stockes müssen wir uns auch mit der bloßen Notiz begnügen**).

Brewster***) machte zuerst 1815 die Bemerkung, daß von blauem Stahle zurückgeworfenes Licht im Doppelspathe zwei ungleichfarbige Bilder zeige. Marx****) beobachtete ein Gleiches an Gold, Kupfer, Messing.

Die bis hierher besprochenen Polarisationserscheinungen betreffen das Licht, welches von geradlinig polarisirenden Flächen unter einem Winkel reflectirt ist, der dem sogenannten Polarisationswinkel gleich ist. Untersucht man Licht, welches unter einem kleineren oder größeren Winkel reflectirt wird, so ergiebt sich dasselbe als zum Theil vollkommen polarisirtes, zum anderen Theil als unpolarisirtes Licht. Man nennt es theilweise polarisirtes Licht, darunter nicht etwa eine mangelhafte Polarisation aller einzelnen Strahlen verstehend, sondern, wie bereits ausgesprochen wurde, ein Gemisch aus vollständig polarisirtem und gar nicht polarisirtem Lichte. Brewster betrachtete das theilweise polarisirte Licht als aus zwei senkrecht auf einander polarisirten Strahlen von ungleicher Intensität bestehend. Da nun die Mehrzahl der Körper uns erst durch reflectirtes Licht sichtbar wird, so ist klar, daß alles Licht, welches auf diese Weise in unser Auge gelangt, mehr oder weniger polarisirt sein wird, und zwar um so mehr, je mehr das Licht bei seiner Reflexion sich dem Polarisationswinkel näherte. So haben wir in der Polarisation ein Kennzeichen für reflectirtes Licht, und so setzt uns diese Erscheinung in Kenntniß selbst über die fernsten Körper, ob sie selbstleuchtend oder in reflectirtem Lichte sichtbar sind. Arago überzeugte sich, daß das Licht des Kometen von 1819 reflectirtes Licht enthielt; dasselbe fand man 1835 am Halley'schen Kometen (vgl. Art. Kometen Bd. IV. S. 328). Ob das Licht des Nordlichtes polarisirt ist oder nicht, darüber sind die Beobachtungen widersprechend. Selbst der blaue Himmel reflectirt Licht. Das Licht des Regenbogens ist in einer durch die Sonne gehenden Ebene polarisirt.

Um das polarisirte Licht von gewöhnlichem und theilweise polarisirtem zu

*) Beer, a. a. O. S. 117 ff.
**) Pogg. Ann. Ergänzungsbd. III. S. 346.
***) On philosoph. Instrum. p. 344.
****) Schweigg. Jahresber. Bd. XXXII. S. 240.

unterscheiden, hat man besondere Instrumente, sogenannte Polariskope. Arago's Polariskop besteht aus einem achromatisirten Kalkspathprisma, vor welchem an der dem Auge abgewandten Seite ein dünnes Gypsblättchen angebracht ist, so daß die Schwingungsebenen desselben mit denjenigen des Prismas einen Winkel von 45° machen. Hierdurch erhält man bei polarisirtem Lichte zwei complementär gefärbte Bilder. — Das von Savart*) besteht aus zwei 1 bis 2 Millim. dicken Bergkrystallen, die einer der Flächen der natürlichen Pyramiden des Krystalls parallel geschnitten und so auf einander gelegt sind, daß ihre Hauptschnitte sich rechtwinkelig kreuzen. Vor ihnen ist eine Turmalinplatte so angebracht, daß ihre Axe diesen rechten Winkel halbirt. Die drei Platten, welche in eine Korkscheibe eingelassen werden, bilden ein System von 6 bis 10 Millim. Dicke. Richtet man den Apparat auf polarisirtes Licht, so zeigen sich gerade farbige, in der Mitte durch einen schwarzen Strich getrennte Streifen, die in der Richtung der Polarisationsebene dieses Lichtes liegen. Nimmt man Doppelspathplatten, so müssen sie den natürlichen Rhomboëderflächen parallel geschnitten sein. — Auch die Haidinger'sche oder dichroskopische Loupe ist sehr zweckmäßig**). Sie besteht aus einem 1 bis $1^1/_2$ Zoll langen natürlichen Kalkspathrhomboëder, an dessen beiden Endflächen Glasprismen aufgekittet sind, so daß die äußeren Flächen, auf welche das Licht auffällt und wieder austritt, auf den Längskanten des Kalkspaths senkrecht stehen. Dies System steckt in einem Korkringe, der sich in einer Messinghülse befindet. Das eine Ende der Hülse ist durch eine Kapsel verschlossen, welche in ihrer Mitte eine quadratische Oeffnung von 2 bis 3 Millim. Seite hat, während die Kapsel des anderen Endes in der Mitte mit einem runden Loche versehen ist, zwischen welchem und dem Glasprisma eine Linse von solcher Sehweite liegt, daß man durch die Prismen und den Kalkspath hindurch die quadratische Oeffnung in zwei scharf begrenzten, sich fast berührenden Bildern erblickt. Die Kapsel mit der quadratischen Oeffnung ist drehbar und wird so gestellt, daß sich die beiden Bilder mit einer Seite berühren. Die Farben des ordentlichen und außerordentlichen Strahles liegen hier dicht aneinander, so daß man sie sehr gut vergleichen kann. Die beiden Bilder sind senkrecht auf einander polarisirt, und zwar das eine parallel der Längsrichtung des Doppelbildes. Läßt man nun geradlinig polarisirtes Licht auffallen, so verschwindet das eine Bild bei einer gewissen Drehung des Kalkspaths ganz, während das andere seine größte Helligkeit zeigt; ist hingegen das auffallende Licht natürliches, so bewahren beide Bilder bei jeder Drehung ihre gleiche Helligkeit; ist endlich das Licht theilweise polarisirtes, so erblickt man bei jeder Drehung zwei Bilder, die aber von wechselnder Intensität sind.

Ein ferneres Polariskop ist von Senarmont***). Es besteht aus vier gleichen Quarzprismen, deren Hypotenusen aneinander gelegt werden, so daß eine parallelflächige Platte entsteht, bei welcher die Ein- und Austrittsflächen lothrecht auf der optischen Axe sind. Die beiden Prismen, welche die untere Hälfte der Platte bilden, haben ihre brechenden Kanten auf einer und derselben Seite liegen, aber das vordere Prisma, z. B. G (s. umstehende Figur), ist linksdrehend und das

*) Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 292.
**) Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 29.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 293. Ann. de Chim. et de Phys. XXVIII. p. 279.



hintere D rechtsdrehend. Die obere Hälfte der Platte ist eben so zusammengesetzt, aber das vordere Prisma D' ist rechtsdrehend und das hintere G' linksdrehend.

Stellt man diese Platte rechtwinkelig gegen die Bahn eines parallelen und folglich im Sinne der Axe gerichteten, polarisirten Lichtbündels, so sieht man sie bedeckt mit geradlinigen Fransen, die den brechenden Kanten der Prismen parallel sind. Fällt der Hauptschnitt des Zerlegers zusammen mit der Ebene der ursprünglichen Polarisation, so entspricht die centrale schwarze Franse des außerordentlichen Bildes der Mitte der Platte oder dem Punkte, wo die Dicke der verkehrt liegenden Prismen gleich ist. Sie ist also eine gerade Linie in beiden Hälften (der vorderen und der hinteren) der halbirten Platte.

Dreht man hierauf den Hauptschnitt des Zerlegers, so verschiebt sich die centrale Franse parallel mit sich selbst; sie entfernt sich von der brechenden Kante des Quarzprisma, dessen Drehungsvermögen gleichen Sinn hat. Da nun in der vorderen und hinteren Hälfte der Platte die Kanten dieser Prismen bei dem einen rechts, bei dem anderen links liegen, so wird die Vorderhälfte der Fransen parallel mit sich selbst in dem einen Sinn vorrücken und die Hinterhälfte in dem anderen. Diese Fransen werden also an der Mittelnaht der halbirten Platte gebrochen.

Sehr genau erkennt man den Moment, wo der Hauptschnitt des Zerlegers mit der Ebene der ursprünglichen Polarisation zusammenfällt, weil man leicht zu beurtheilen vermag, wenn die beiden Fransenstücke in gerader Linie liegen oder parallel verschoben sind. Diese einfache und sehr empfindliche Schätzung ist von Farbe und Licht unabhängig, sowohl für homogenes als für weißes Licht gültig, ja, bis auf die zunehmende Bläſſe der Fransen, sowohl für elliptische als geradlinige Polarisation.

Nach Versuchen von Brewster*) wird das theilweis polarisirte Licht durch mehrmalige Reflexionen unter demselben von dem Polarisationswinkel abweichenden Winkel in derselben Ebene immer vollständiger polarisirt. Ist der Einfallswinkel bei vollständiger Polarisation auf Glas 56° 45', so tritt vollständige Polarisation ein:

Durch	2	Reflexionen	unter	einem	Winkel	50°	26'	und	62° 30'
„	3	„	„	„	„	46	30	„	65 33
„	4	„	„	„	„	43	51	„	67 33
„	5	„	„	„	„	41	43	„	69 1
„	6	„	„	„	„	40	—	„	70 9
„	7	„	„	„	„	38	33	„	71 5
„	8	„	„	„	„	37	20	„	71 51

Durch einmalige Brechung wird das Licht niemals vollständig polarisirt, weshalb man auch, wie Eingangs dieses Artikels angeführt ist, sich hierzu ganzer Glassätze bedient. Je größer die brechende Kraft der angewendeten Substanz ist, desto weniger Platten sind erforderlich. Je schiefer die Glasscheiben gegen das einfallende Licht stehen, desto weniger Scheiben sind zur vollständigen Polarisation

*) Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 259. Philos. Transact. 1830. p. 69.

durch Brechung erforderlich. Brewster fand bei dem Lichte einer 10 bis 12 Fuß entfernten Wachskerze:

Anzahl der Cronglasscheiben.	8	12	16	21	24	27	31	35	41	47
Einfallswinkel	79° 11′	74°	69° 4′	63° 21′	60° 8′	57° 10′	53° 28′	50° 5′	45° 35′	41° 41′

Die Quantität des durch polirte Flächen reflectirten Lichtes nimmt mit der Schiefe des Einfalls fortwährend zu. Das Gesetz, nach welchem dies geschieht, ist von Fresnel durch folgende Formel ausgedrückt worden:

$$I = \frac{\sin^2 (i - i')}{\sin^2 (i + i')} \cos^2 \varphi + \frac{tgs^2 (i - i')}{tgs^2 (i + i')} \sin^2 \varphi.$$

Die Intensität des einfallenden Lichtes ist als Einheit angenommen; I bezeichnet die Intensität des zurückgeworfenen Lichtes; i den Einfallswinkel; i' den Winkel der entsprechenden Brechung; φ den Winkel, welchen die Polarisationsebene des einfallenden Lichtes mit der Einfallsebene oder der Reflexionsebene macht.

Wenn das einfallende Licht in der Einfallsebene vollkommen polarisirt ist, so hat man $\varphi = 0$, $\sin^2 \varphi = 0$, $\cos^2 \varphi = 1$ und folglich

$$I = \frac{\sin^2 (i - i')}{\sin^2 (i + i')}.$$

Um von dieser Formel Gebrauch zu machen, darf man nur den Winkel i kennen, für welchen man die Intensität des zurückgeworfenen Lichtes bestimmen will, und den Brechungsexponenten n der Substanz, von welcher die Reflexion geschieht, wo dann i' durch die Formel $\sin i = n \sin i'$ gegeben ist. Es bleibt dann nur noch übrig für i und i' ihre Werthe zu setzen und nach Ausführung der Rechnung erhält man den Werth von I oder das Verhältniß des zurückgeworfenen Lichtes.

Wenn das Licht in der Ebene senkrecht auf die Einfallsebene vollkommen polarisirt und zugleich der Einfallswinkel der der vollständigen Polarisation ist, so hat man $\varphi = 90^0$, $\cos^2 \varphi = 0$, $\sin^2 \varphi = 1$, $i + i' = 90$, also $\sin (i + i') = 1$, $tgs (i + i') = \infty$ und mithin $I = 0$. Wir wissen aber, daß in der That unter diesen Umständen die Reflexion genau 0 ist. Aber wenn diese Umstände dieselben sind, während der Einfallswinkel nicht der der vollständigen Polarisation ist, so hat man nicht mehr $i + i' = 90^0$ und findet folglich:

$$I = \frac{tgs^2 (i - i')}{tgs^2 (i + i')}.$$

Wenn das einfallende Licht vollkommen in einer Ebene polarisirt ist, welche mit der Einfallsebene einen Winkel von 45^0 macht, so hat man $\varphi = 45^0$, $\cos^2 \varphi = \frac{1}{2}$, $\sin^2 \varphi = \frac{1}{2}$ und mithin

$$I = \frac{1}{2} \left(\frac{\sin^2 (i - i')}{\sin^2 (i + i')} + \frac{tgs^2 (i - i')}{tgs^2 (i + i')} \right).$$

Dies Resultat ist genau dasselbe, welches man erhalten würde, wenn man zwei einfallende Lichtbündel von gleicher Intensität betrachtete, so daß $\frac{1}{2}$ ihre gemeinsame Intensität und das eine in der Einfallsebene, das andere senkrecht auf diese Ebene polarisirt wäre, denn das erste würde geben

$\frac{1}{2}\frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')}$ und das zweite: $\frac{1}{2}\frac{tgs^2(i-i')}{tgs^2(i+i')}$.

Fielen sie nun zusammen auf gleiche Weise ein, so würden sie zusammen unter demselben Winkel zurückgeworfen, und die Intensität des zurückgeworfenen Strahlenbündels wäre gleich der Summe der Intensitäten eines jeden, also gleich dem obigen Resultate.

Wenn das einfallende Licht gemischt ist, oder aus einer Quantität K polarisirten Lichtes und mithin einer Quantität 1 — K natürlichen Lichtes zusammengesetzt wäre, indem φ immer den Winkel bezeichnet, den die Polarisationsebene des polarisirten Theiles mit der Einfallsebene macht, so kann man noch leicht das Verhältniß des zurückgeworfenen Lichtes finden; denn der Theil K des polarisirten Lichts giebt bei der Reflexion eine Quantität Licht, welches dargestellt ist durch:

$$K\left(\frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')}\cos^2\varphi+\frac{tgs^2(i-i')}{tgs^2(i+i')}\sin^2\varphi\right)$$

und der Theil 1 — K, welcher nicht polarisirt ist, kann betrachtet werden als ein Theil $\frac{1-K}{2}$, der in der Einfallsebene und ein gleicher Theil $\frac{1-K}{2}$, der in der Ebene senkrecht auf die Einfallsebene polarisirt ist. Der erste giebt bei der Reflexion $\frac{1-K}{2}\cdot\frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')}$, der zweite $\frac{1-K}{2}\cdot\frac{tgs^2(i-i')}{tgs^2(i+i')}$, und die Summe dieser drei reflectirten Bündel giebt den wahren Werth von I, also:

$$I=\frac{1+K\cos 2\varphi}{2}\cdot\frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')}+\frac{1-K\cos 2\varphi}{2}\cdot\frac{tgs^2(i-i')}{tgs^2(i+i')}.$$

Ist K = 1, so erhält man die Formel für vollständig polarisirtes Licht; ist K = 0, so erhält man die Formel für in 45° polarisirtes oder für natürliches Licht.

Wenn das Licht senkrecht einfällt, so erhält man i = 0 und i' = 0; der Ausdruck für I wird dann $\frac{0}{0}$. Es ist aber leicht, hierfür den wahren Werth zu finden; denn ist n der Brechungsexponent, so kann man bei sehr kleinen Winkeln die Winkel selbst mit den Sinus und Tangenten vertauschen und also i = ni' setzen. Dann erhält man i — i' = (n — 1) i', i + i' = (n + 1) i', also

$$\frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')}=\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \text{ und } \frac{tgs^2(i-i')}{tgs^2(i+i')}=\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$$

und folglich:

$$I=(\cos^2\varphi+\sin^2\varphi)\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2=\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2.$$

Dies beweist, wie zu erwarten stand, daß beim senkrechten Einfallen das Licht stets in demselben Verhältnisse zurückgeworfen wird, es mag sich im natürlichen Zustande befinden oder in irgend einer Ebene polarisirt sein.

Läßt man nicht natürliches Licht, sondern einen schon polarisirten Strahl von einer polirten Fläche unter verschiedenen Neigungen reflectirt werden, so ist der reflectirte Theil noch polarisirt, aber es findet sich im Allgemeinen, daß seine Polarisationsebene ihre Richtung verändert hat. Gesetzt, die Polarisationsebene des einfallenden Lichts mache einen Winkel von 45° mit der Reflexionsebene, so ist es möglich, daß die Polarisationsebene des zurückgeworfenen Lichtes mit derselben Ebene nur noch einen Winkel von 40°, 30°, 20°, 10° oder wohl gar einen Winkel = 0 macht, je nach der Art des Einfallens. Diese Veränderung der Richtung nennt man die **Bewegung der Polarisationsebene**, den Winkel der Polarisationsebene mit der Einfalls- oder Reflexionsebene das **Azimuth** der Polarisationsebene. Nach **Fresnel** gilt für diese Bewegung der Polarisationsebene die Formel:

$$\operatorname{tgs} \varphi' = \operatorname{tgs} \varphi . \quad \frac{\cos (i + i')}{\cos (i - i')},$$

wo φ das Azimuth der Polarisationsebene bei dem einfallenden Strahle, φ' das Azimuth derselben beim zurückgeworfenen Strahle, i den Einfallswinkel, unter welchem die Reflexion geschieht, i' den Brechungswinkel, welcher dem Einfallswinkel entspricht, bedeutet. Soll z. B. $\varphi = \varphi'$ sein, so muß $\cos (i + i') = \cos (i - i')$ werden, eine Bedingung, welche nur in zwei Fällen zu erfüllen ist, nämlich durch $i = 0$, wo dann auch $i' = 0$ ist, da $\sin i = n . \sin i'$ ist, und durch $i = 90°$, da dann $\sin i' = \frac{1}{n}$ wird. Hieraus folgt, daß die senkrechte Reflexion und die Reflexion unter dem größtmöglichen Winkel die einzigen sind, welche keine Veränderung des Azimuths der Polarisationsebene bewirken, wie groß auch sein Werth sein mag. — Wäre ferner $i + i' = 90°$, d. h. wäre der Strahl vollständig polarisirt, so hat man stets $\cos (i + i') = 0$, also $\operatorname{tgs} \varphi' = 0$ und $\varphi' = 0$. Beim Winkel der vollständigen Polarisation ist also der reflectirte Strahl stets in der Einfallsebene polarisirt, welches auch das Azimuth der Polarisationsebene des einfallenden Strahles sein mag. — Ist das Azimuth der Polarisationsebene 45°, so hat man $\operatorname{tgs} \varphi = 1$ und $\operatorname{tgs} \varphi' = \frac{\cos (i + i')}{\cos (i - i')}$. Diese Formel entdeckte **Fresnel**, ehe er das allgemeine Gesetz aufstellte.

Das von den uns durch Reflexion erst sichtbar werdenden Körpern ausgehende Licht ergab sich als theilweise polarisirtes Licht; das von selbst leuchtenden Körpern, z. B. von der Sonne, ausgehende Licht ist das **natürliche**. Oben haben wir bereits gesehen, daß die beiden aus einem Kalkspathe austretenden, rechtwinkelig zu einander polarisirten Strahlen beim Aufeinanderfallen beider Bilder natürliches Licht geben. Man kann hiernach das natürliche Licht als aus zwei geradlinigen und zu einander senkrecht polarisirten Strahlen bestehend ansehen. **Fresnel** stellte sich das natürliche Licht aber anders vor. Nach ihm sind die Schwingungen — wie man auch allgemein annimmt — transversal, aber beim Fortschreiten ändert sich fortwährend die Schwingungsrichtung, so daß das natürliche Licht als polarisirtes Licht anzusehen wäre, welches eine stete Veränderung der Po-

larisationsebene erleidet, so zwar, daß dasselbe in einer gewissen Zeit nach jeder möglichen Richtung gleich oft polarisirt ist. Hierfür spricht die zuletzt angeführte Formel Fresnel's für den Fall, daß $i + i' = 90^{0}$ ist; denn das Resultat derselben zeigt, wie der Fall der vollständigen Polarisation mit der Bewegung der Polarisationsebene durch die Zurückwerfung in Verbindung steht, und daß man berechtigt ist, ein Bündel natürlichen Lichtes als ein Bündel zu betrachten, welches aus einer Menge von in allen Azimuthen polarisirten Strahlen zusammengesetzt ist, weil eben die Reflexion die Polarisationsebenen aller dieser Strahlen in die Einfallsebene zurückführt. Dove fand diese Ansicht durch das Experiment bestätigt. Er ließ Sonnenstrahlen parallel der Axe auf die Innenfläche eines abgekürzten gläsernen Hohlkegels fallen, dessen Seitenfläche mit der Axe denselben Winkel bildete, als der ist, unter welchem das Licht auf die ebene, spiegelnde Glasfläche fallen muß, um vollständig polarisirt zu werden. Das in einem Punkte zusammentreffende Licht zeigte hier dieselben Erscheinungen, als wäre dieser Punkt von unpolarisirtem Lichte beleuchtet. Ebenso ließ er*) die Strahlen einer Lampe durch ein Nicol'sches Prisma, welches mit sehr großer, aber gleichförmiger Geschwindigkeit rotirte, parallel der Drehungsaxe fallen. Die Polarisationsebenen erhielten hier alle möglichen Richtungen und das austretende Licht ergab sich als natürliches Licht. Wurde statt des Lampenlichtes ein elektrischer Funke genommen, so war das austretende Licht geradlinig polarisirt, weil die Zeit der Beleuchtung zu kurz war, als daß eine Veränderung der Polarisationsebene in alle möglichen Lagen hätte eintreten können.

Ließ Dove einen geradlinig polarisirten Strahl so rotiren, daß die Winkelgeschwindigkeit seiner Oscillationsebene von einer bestimmten Lage an bis zu der darauf senkrechten stetig zunahm, hierauf wieder in gleicher Weise abnahm u. s. f., so zeigte sich nach der Richtung der größten Winkelgeschwindigkeit eine theilweise Polarisation.

Das polarisirte Licht verliert übrigens seine Eigenthümlichkeiten auch dann noch, wenn es auf eine rauhe Oberfläche fällt, die es gleichmäßig nach allen Richtungen verstreut. Erleidet das polarisirte Licht diese Umwandelung, so heißt es depolarisirt.

Wir haben oben angeführt, daß auch das Licht des blauen Himmels reflectirt sei, also als polarisirtes erkennbar sein müsse. Wir müssen nun noch hinzufügen, daß man die verschiedenen Stellen des Himmels in dieser Beziehung durchmustert und dabei gefunden hat, daß in der Nähe der Sonne die Polarisation gleich Null ist, dann allmälig zunimmt, je mehr sich die Lufttheilchen von diesem Gestirn entfernen und dem Horizonte näher liegen. Die Richtung dieser Polarisation ist durch die verticale Ebene, welche die Sonne und die beleuchteten Theile enthält, gegeben. Andererseits erhalten aber dieselben Lufttheilchen durch den Reflex der übrigen Atmosphäre eine secundäre Beleuchtung durch horizontal polarisirtes Licht. Die horizontale Polarisation muß in der Nähe der Sonne vorwalten, die verticale tiefer unter derselben. Man hat also dicht unter der Sonne eine horizontale Polarisation, dann einen neutralen Punkt und darauf eine verticale Polarisation. Man hat nun namentlich die neutralen Stellen zu bestimmen gesucht und dabei mehrere gefunden. So liegt der sogenannte Arago'sche neutrale Punkt $11^{1}/_{2}{}^{0}$

*) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 115.

von dem der Sonne gegenüberliegenden Punkte ab in dem Momente, wo er am Horizonte ist, aber $18^1/_2{}^0$ am Untergange der Sonne, und 25^0 am Ende der Dämmerung. Babinet fand einen neutralen Punkt über der Sonne, und zwar bei hohem Stande derselben 6 bis 7^0 über ihr, aber bis zum Sonnenuntergange immer mehr wachsend bis auf $18^1/_2{}^0$. Brewster fand einen entsprechenden Punkt unter der Sonne, und zwar bei hohem Stande derselben in einem Abstande von 7 bis 8^0, bei sinkender Sonne in größerem Abstande bis 16 oder 18^0. Brewster hat auch noch einen secundären Neutralpunkt gefunden, welcher den Arago'schen Neutralpunkt begleitet und sich mit diesem hebt. Zwischen beiden ist die Polarisation negativ *).

Als ein vorzügliches Mittel zum Studium der Polarisation des Lichtes ist die Wellenmaschine von Fessel in Cöln am Rhein zu empfehlen**). Wir können dieselbe hier nicht vollständig beschreiben, halten es aber für nothwendig, wenigstens eine Idee von derselben zu geben, und thun dies nach Beer's Darstellung.

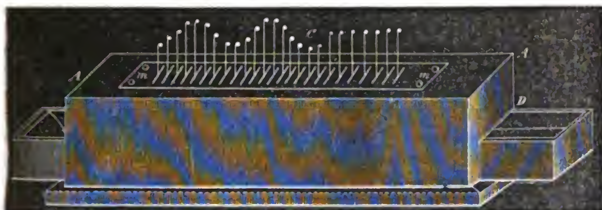
In die obere Seitenfläche C (s. umstehende Fig. I.) eines Kastens A A' von der Gestalt eines länglichen, rechtwinkeligen Parallelepipedums ist eine Messingplatte m m eingelassen, in der sich geradlinige, unter einander parallele und in gleichen Entfernungen von einander abstehende Einschnitte befinden. Der Kasten wird durch ein Mittelstück D in eine obere und untere Etage getheilt. In diesem Mittelstücke befinden sich ebenfalls Einschnitte wie in der Seite C, und zwar liegt senkrecht unter jedem Einschnitte des letzteren ein entsprechender paralleler Einschnitt von D. In der unteren Etage kann ein Schieber (s. Figur II.) durch eine leichte Bewegung hin und her geschoben werden. Er hat ebenfalls die Gestalt eines rechtwinkeligen Parallelepipedums; oben ist er offen und in seine Seiten ist ein zuerst wellenförmig hin und her gebogenes, dann gerade auslaufendes, geschliffenes Messingblech w_1 w_3 eingelassen. Die Form dieses Bleches ist die eines Cylinders, dessen Generatrix mit der Kante K parallel ist; die Directrix besteht aus einem Stücke w_1 w_2 einer Wellenlinie, an welche sich das Stück w_2 w_3 einer geraden

---

*) Pogg. Ann. Bd. LI. S. 562; Bd. LXVI. S. 456; Bd. LXIX. S. 462. Compt. rend. T. XX. p. 801; T. XXIII. p. 233.

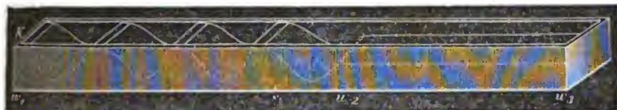
**) Poggend. Ann. Bd. LXXVIII. S. 421; Beer a. a. O. S. 178 u. 401. Fessel fertigt seine Maschine zu verschiedenen Preisen an, natürlich auch mit verschiedenen Leistungen. Die kleine Wellenmaschine kostet 35 Thlr., die große Wellenmaschine ohne einfallende Welle 50 bis 60 Thlr., die vollständige große Wellenmaschine 80 bis 90 Thlr. — Mit der kleinen Wellenmaschine kann man schon folgende Versuche anstellen und Veranschaulichungen geben: 1) Einfache Welle polarisirten Lichts; 2) Coincidenz zweier ebener Wellen von derselben Schwingungsrichtung. 3) Coincidenz zweier Wellen, deren Schwingungsrichtungen auf einander senkrecht stehen, zu einer neuen ebenen Welle. 4) Kreisförmig polarisirte Welle. 5) Elliptisch polarisirte Welle. 6) Coincidenz einer kreisförmig polarisirten und einer ebenen Welle. 7) Coincidenz einer elliptisch polarisirten Welle mit einer ebenen Welle. 8) Coincidenz einer elliptischen und einer kreisförmigen Welle. 9) Lemniscatenwellen. 10) Parabelwellen. 11) Zwischencurven zwischen Lemniscaten und Parabeln. 12) Coincidenz einer Lemniscatenwelle mit einer ebenen Welle. 13) Coincidenz einer Parabelwelle mit einer ebenen Welle. 14) Coincidenz einer Lemniscatenwelle mit einer kreisförmigen. 15) Coincidenz einer Parabelwelle mit einer kreisförmigen. 16) Coincidenz zweier kreisförmig polarisirten Wellen.

I.



Linie ansetzt, die in die Verlängerung der Axe der Wellenlinie fällt. Von w_1 bis w_2 ist also das Messingblech wellenförmig hin und her gebogen, von w_2 bis w_3

II.



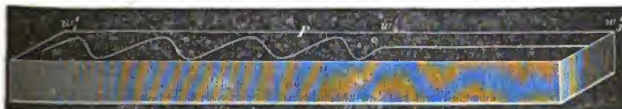
aber ist es eben. In die obere Etage kann der Schieber geschoben werden, welchen Figur III. veranschaulicht, der hohl ist, und dessen Boden und obere Fläche o

III.



längs der Mitte mit einem geradlinigen Einschnitte t t versehen sind. Bringen wir nun diesen Schieber in die obere Etage, so daß diese ganz von ihm erfüllt

IV.



wird, so leuchtet ein, daß der Einschnitt t t und jeder der Einschnitte von C, so wie der Einschnitt in dem Boden des Schiebers und jeder der Einschnitte des Mittelstücks D eine Oeffnung frei lassen, und daß von der unteren Reihe dieser Oeffnungen immer eine senkrecht unterhalb einer der oberen Oeffnungen liege. Durch je zwei solcher sich entsprechender Oeffnungen wird nun, nachdem der Schieber (Figur II.) von w_2 bis w_3 in die untere Etage eingeschoben worden, eine Stahlnadel (s. Figur I.) herabgelassen, die an ihrem oberen Ende einen Knopf trägt, an ihrem unte-

V.



ren Ende wohl abgerundet ist. Alle diese Nadeln sind gleich lang, und so kommen die Knöpfe in eine gerade Linie zu liegen, so lange die unteren Enden auf dem ebenen Stücke $w_2 w_3$ des Messingbleches $w_1 w_3$ aufstehen. Die Knöpfe stellen nun Aethertheilchen vor, und zwar bei der angegebenen Anordnung eine Reihe von Theilchen, die, auf einer Geraden liegend, sich im Zustande der Ruhe befinden. Den Nadeln und somit auch den Knöpfen ist nur eine auf- und abwärtsgehende Bewegung in den früher erwähnten Oeffnungen gestattet, und eine solche werden sie nothwendig annehmen müssen, wenn der Schieber (Figur II.) in der Richtung $w_1 w_3$ weiter vorgeschoben wird. In der That, da unter einer Nadel, sobald sie auf den wellenförmigen Theil $w_1 w_2$ des Messingbleches zu stehen kommt, bald ein Berg, bald ein Thal herschreitet, so wird ihr Kopf bald nach oben, um die Amplitude der Wellenlinie $w_1 w_2$ gehoben, bald nach unten durch die Schwere der Nadel um eben so viel herabgezogen. Und diese Oscillation kommt ersichtlich genau mit derjenigen überein, die wir bei geradlinig polarisirtem Lichte unterstellt haben, sobald der Schieber (Fig. II.) mit gleichförmiger Geschwindigkeit verschoben wird. Dabei wird jedes der Knöpfchen um ein Gleiches seine Oscillation später beginnen als dasjenige, welches ihm in der der Verschiebung entgegengesetzten Richtung nächst anliegt. Immer werden die Knöpfe auf einer Linie liegen, die der senkrecht darunter liegenden Directrix $w_1 w_3$ gleich ist; diejenigen, welche senkrecht über $w_2 w_3$ liegen, haben die Lage des Gleichgewichts noch nicht verlassen; diejenigen, welche über dem wellenförmigen Theile $w_1 w_2$ liegen, befinden sich auf einer Wellenlinie, die dem darunter liegenden Stücke von $w_1 w_2$ parallel läuft. Diese Wellenlinie rückt wie die Directrix $w_1 w_2$ mit gleichförmiger Geschwindigkeit fort. Die Bewegung der Knöpfe ist also der Art nach genau dieselbe wie die der Aethertheilchen auf einem geradlinig polarisirten Lichtstrahle. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Schieber (Fig. II.) verschoben wird, entspricht der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Strahles. Die Länge des Intervalles und die Höhe der Wellenlinie $w_1 w_2$ stellen die Wellenlänge und die Amplitude des Strahles dar. Endlich entspricht die Ebene der Knöpfchen, welche senkrecht steht und durch den Einschnitt t t geht, der Oscillationsebene.

Um die Interferenz zweier geradlinig und senkrecht zu einander polarisirten Strahlen von gleicher Wellenlänge zu versinnlichen und eine Vorstellung von elliptisch polarisirtem Lichte zu gewinnen, wird an die Stelle des Schiebers (Figur III.) der Schieber, welchen Fig. IV. anschaulich macht, in die obere Etage gebracht. Er hat die Länge des Schiebers Fig. II. und trägt oben und unten zwei parallele und senkrecht unter einander gelegene Einschnitte, die aus einem Stück einer mit $w_1 w_2$ gleichen Wellenlinie und einer geraden Fortsetzung bestehen. Die Axe jenes Stückes $w_1' w_2'$ fällt mit der Mitte der Seite P zusammen, sowie auch der geradlinige Einschnitt $w_2' w_3'$. Dieser Schieber wird mittelst eines Kopfes (Fig. V.) befestigt, so daß Schieber IV. über Schieber II. steht und nur beide zugleich verschoben werden können; dabei gestattet aber die Schraube s_2, welche den Kopf mit dem Schieber Figur IV. verbindet, den letzteren gegen Schieber Figur II. um einen beliebigen Theil oder das Ganze einer Wellenlänge zu verschieben. Die Einschnitte des Schiebers (Fig. IV.) und die der Platten C und D (Fig. I.) lassen nun zwei Reihen von Oeffnungen frei, die paarweise senkrecht unter einander liegen. Durch sie werden wieder die Nadeln gesteckt. Wenn die Schieber Figur IV. und Figur II. zumal verschoben werden, so müssen offenbar jene Nadeln immer senkrecht bleiben.

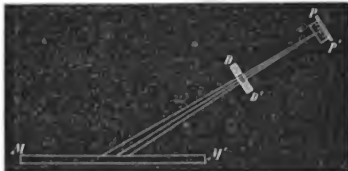
außerdem aber ist ihnen erstlich eine auf- und abwärtsgehende und zweitens in den Einschnitten der Platten C und D eine vorwärts- und rückwärtsgehende Bewegung gestattet. So lange eine Nadel den geradlinigen Theil des Einschnittes $w_1' w_3'$ durchsetzt und auf dem ebenen Theile $w_2 w_3$ ruht, nimmt sie keine Bewegung an; ihr Knopf stellt ein im Zustande der Ruhe befindliches Aethertheilchen dar. Kommt aber, indem die Schieber vorgestoßen werden, eine Nadel in den wellenförmigen Theil des Einschnittes $w_1' w_3'$, während sie noch auf $w_2 w_3$ aufsteht, oder kommt sie auf den wellenförmigen Theil $w_1 w_2$ zu stehen, während sie noch den geradlinigen Einschnitt $w_2' w_3'$ durchsetzt, so bewegt sich ihr Knopf bezüglich vorwärts und rückwärts in einer Horizontalebene oder aufwärts und abwärts in einer Verticalebene. In dem ersteren Falle ist die Bewegung so, wie die eines Aethertheilchens auf einem geradlinig polarisirten Strahle, dessen Wellenlinie $w_1' w_2'$ ist, dessen Oscillationsebene also horizontal liegt. In dem zweiten Falle hingegen bewegt sich der Knopf wie ein Aethertheilchen auf einem geradlinig polarisirten Strahle, dessen Wellenlinie $w_1 w_2$, dessen Schwingungsebene mithin senkrecht steht. Wenn aber endlich die Nadel in die wellenförmige Rinne $w_1' w_2'$ gelangt und zugleich auf den wellenförmigen Theil $w_1 w_2$ aufzustehen kommt, so wird die Bewegung offenbar mit derjenigen übereinstimmen, welche das Aethertheilchen eines Strahles annimmt, der aus der Interferenz zweier geradlinig und senkrecht zu einander polarisirten Strahlen von gleicher Wellenlänge und Amplitude resultirt. Die Bewegung des Knopfes ist nämlich die Resultante der Bewegungen, deren Wellenlinien $w_1 w_2$ und $w_1' w_2'$ sind. Von der gegenseitigen Lage der Knoten dieser Linien hängt es ab, ob die Oscillationen der Knöpfe geradlinig, elliptisch oder kreisförmig werden, ob also die Knöpfe die Bewegung der Aethertheilchen in einem geradlinig, elliptisch oder kreisförmig polarisirten Lichtstrahle zeigen. Jene Lage können wir aber mittelst der Schraube s_2 innerhalb der Grenzen einer Wellenlänge beliebig ändern und somit der Reihe nach jede Art der Polarisation nachbilden.

Wir wenden uns nun zu den Farbenphänomenen, welche das polarisirte Licht darbietet, zu der von manchen Physikern sogenannten Dipolarisation.

Arago machte, bald nachdem Malus die Polarisation des Lichtes entdeckt hatte, folgende Beobachtung (1811). Ein dünnes Glimmerblatt oder Marienglas erscheint völlig farblos und durchscheinend, wenn man es mit bloßem Auge gegen den reinen und wolkenlosen Himmel betrachtet; wenn man aber, um es zu betrachten, vor das Auge ein doppeltbrechendes Prisma bringt, so sieht man es im Allgemeinen in seiner ganzen Ausdehnung eine einfache und brillante Färbung annehmen. Das doppeltbrechende Prisma läßt es doppelt erscheinen, und seine beiden gefärbten Bilder sind stets in den gegenseitigen Ergänzungsfarben (s. Art. Farbe Bd. III. S. 39) gefärbt; denn der Raum, wo sie über einander liegen und sich gegenseitig aufheben, erscheint völlig weiß. Die Lebhaftigkeit der Farben hängt von der Gegend des Himmels ab, welche man betrachtet, oder vielmehr von der Stellung gegen den Lauf der Sonne; und die Farben zeigen sich niemals, wenn man die Beobachtung gegen einen mit Gewölk bedeckten Himmel richtet. Man kann unter Anderm bemerken, daß die Dicke des Blattes und seine Schiefe

gegen das Lichtbündel, welches ins Auge gelangt, Umstände sind, welche die Nüance der Farben verändern, während die Stellung gegen den Hauptschnitt des Prisma nur die Intensität verändert. Da nun das blaue Licht des Himmels in den verschiedenen Regionen und selbst in den verschiedenen Tagesstunden mehr oder weniger polarisirt ist, so liegt es nahe, die angeführte Farbenerscheinung auf die Polarisation zu beziehen.

Dies wird durch folgenden Versuch noch mehr bestätigt. Das Licht der Wolken oder das einer Flamme werde von einem schwarzen Spiegel MM′ (s. nebenstehende Figur) reflectirt; das reflectirte Lichtbündel geht durch ein Diaphragma DD′ und wird durch ein doppeltbrechendes Prisma PP′, welches man vor das Auge hält, beobachtet. Wir wissen, daß die Oeffnung des Diaphragma dann ein einziges Bild giebt, wenn der Winkel des Hauptschnittes des Prisma und der Polarisationsebene 0° oder 90° ist; daß es zwei gleich lebhafte Bilder giebt, wenn dieser Winkel = 45°, und endlich zwei ungleiche Bilder, wenn dieser Winkel zwischen 0 und 45° oder zwischen 45° und 90° liegt. Wir wissen ferner, daß in allen diesen Fällen diese Bilder farblos sind. Bringt man jetzt in der Oeffnung des Diaphragma einen kleinen Ring an, über dessen Oeffnung eine dünne Krystallplatte — ein Blatt zweiarigen Glimmers, oder eine sehr dünne Bergkrystallplatte, welche so geschliffen ist, daß die Axe des Bergkrystalls in der Ebene der Platte liegt, — befestigt ist; so erscheint hier diese Platte, welche von Natur durchscheinend und ohne Farbe ist, bei gehöriger Drehung in mehr oder weniger lebhaften Nüancen gefärbt, und die Farben der beiden Bilder sind immer Ergänzungsfarben gegen einander; denn wenn sie hinreichend breit sind oder eins von dem andern wenig genug entfernt ist, so daß sie sich zum Theil decken, so ist dieser Theil vollkommen weiß. Will man die beiden Bilder nicht über einander greifend haben, so verkleinert man entweder die Oeffnung oder schiebt dieselbe Oeffnung weiter vom Auge fort. Man kann also dasselbe Licht theilen in zwei Mengen farblosen Lichtes sowohl von gleicher, als auch verschiedener Helligkeit bis zum Verschwinden der einen, außerdem aber auch in Farbe und Farbe. — Anstatt das Bild der Oeffnung mit einem doppeltbrechenden Prisma zu betrachten, könnte man einen Turmalin oder einen Polarisationsspiegel benutzen.



Nun geben unkrystallisirte Substanzen, wie Glas, Gase und tropfbare Flüssigkeiten, ebenso Krystalle des regulären Systems (s. Art. Krystall Bd. IV. S. 362) keine Doppelbilder. Alle Krystalle, die nicht zu dem regulären Systeme gehören, zeigen hingegen (s. Art. Brechung des Lichts Bd. I. S. 895) doppelte Strahlenbrechung, werden aber in optischer Hinsicht in einarige und zweiarige unterschieden. Bei jedem Krystalle mit doppelter Brechung giebt es nämlich eine oder zwei Richtungen, nach denen ein Lichtstrahl sich niemals theilt, sondern ungespalten hindurchgeht. Diese Richtungen heißen die optischen Axen des Krystalls, im Gegensatze zu den krystallographischen Axen, über welche Art. Krystall nähere Auskunft giebt. Die doppeltbrechenden Krystalle

nun, in deren Innerem es nur Eine Richtung der Untheilbarkeit giebt, heißen optisch-einaxige Krystalle oder einaxige schlechthin, wogegen die mit zwei Richtungen der Untheilbarkeit begabten optisch-zweiaxige Krystalle oder zweiaxige schlechthin genannt werden. Regelmäßige Krystalle mit mehr als zwei optischen Axen scheint es nicht zu geben. Die optischen Axen haben stets eine gewisse Symmetrie gegen die natürlichen Flächen der Krystallform. Brewster hat das allgemeine Gesetz aufgestellt, daß bei den einaxigen Krystallen die optische Axe stets mit der krystallographischen Hauptaxe zusammenfällt; die optischen Axen der zweiaxigen Krystalle lassen sich jedoch auf eine einfache Weise von der krystallographischen Axe nicht ableiten. Ueber Mehreres in Betreff der ein- und zweiaxigen Krystalle verweisen wir auf Art. Brechung des Lichts, Bd. I. S. 896 ff., woselbst auch die wichtigsten Krystalle mit einer oder zwei optischen Axen aufgeführt sind.

Es bieten nun alle Krystallplatten, sie mögen von einem Krystalle mit einer oder von einem Krystalle mit zwei Axen kommen, sie mögen ihre natürlichen Flächen behalten, oder in verschiedenen Richtungen geschnitten sein, unter den oben angegebenen Verhältnissen analoge Erscheinungen dar; aber es giebt immer eine gewisse Grenze der Dicke, über welche hinaus alle Phänomene verschwinden, und selbst unter dieser Grenze giebt es immer für jede Platte gewisse Stellungen, in denen sie aufhört gefärbt zu sein. Die beobachtete Thatsache läßt sich kurz folgendermaßen aussprechen: Ein Bündel polarisirten weißen Lichts, welches unter gewissen Bedingungen durch eine Krystallplatte hindurchgeht, erscheint stets auf verschiedene Weise gefärbt, wenn es nachher unter dem Polarisationswinkel zurückgeworfen oder in einem doppeltbrechenden Körper gebrochen wird.

In welcher Weise man den Dove'schen Apparat zur Untersuchung der hier in Rede stehenden Erscheinungen benutzt, namentlich wie der Ring l im Ständer s_4 hier zur Anwendung kommt, ist oben bei der näheren Beschreibung dieses Apparats bereits angegeben, und wir gehen nun auf die Erfahrung im Speciellen ein.

Krystalle mit Einer Axe, auf welche das Lichtbündel senkrecht gegen die Axe fällt. Ist der Dove'sche Apparat für die Untersuchung in der angegebenen Weise hergerichtet, so bringt man in den Ring l ein der Axe parallel geschnittenes Krystallplättchen, z. B. von Bergkrystall, welches weniger als 45 Hunderttheile eines Millimeters dick ist. Diese Plättchen werden mittelst Canadabalsams auf Glasplatten geleimt, um auf diesen Grad der Dünnheit gebracht werden zu können. Jetzt kann man folgende Beobachtungen machen:

1) Vorausgesetzt, daß der Hauptschnitt des analysirenden doppeltbrechenden Prisma in der Ebene der ursprünglichen Polarisation liege, d. h. in der Reflexionsebene, so sind beide Bilder, das gewöhnliche und das ungewöhnliche, sichtbar und farbig. Ihre Farben sind genau Ergänzungsfarben gegen einander. Dreht man das Krystallplättchen in dem Ringe, ohne daß dieser seine Ebene verändert, so sieht man die Nüance der Farben dieselbe bleiben für jedes Bild; aber der Glanz wird nach und nach verändert, und man findet bald eine Stellung, für welche eines der Bilder verschwindet und das andere weiß wird. Bemerken wir uns diese Stellung als Ausgangspunkt und fahren fort das Krystallplättchen in demselben Sinne zu drehen, so erscheinen die Bilder wieder in ihrer Färbung;

darauf nimmt ihr Glanz zu, nimmt wieder ab bis zu einer neuen Stellung, wo das Bild, welches eben weiß war, vollkommen erloschen ist, und dafür das andere Bild weiß erscheint. Um von der ersten zu der zweiten Stellung überzugehen, ist eine Drehung von 90° erforderlich. Eine Drehung durch den zweiten, dritten und vierten Quadranten bietet genau dieselben Erscheinungen dar, und man kann leicht bemerken, daß die 4 Stellungen, bei welchen die beiden farbigen Bilder sich auf Ein weißes Bild reduciren, genau dann eintreten, wenn der Hauptschnitt des Blättchens parallel oder senkrecht gegen den Hauptschnitt des Prisma ist. Auf diese Weise lassen sich die Erscheinungen auf folgende Weise zusammenfassen: Wenn der Hauptschnitt des Blättchens mit dem Hauptschnitte des Prisma und mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammenfällt, giebt es nur Ein Bild, welches weiß ist, und dies ist das gewöhnliche Bild. Wenn der Hauptschnitt des Blättchens senkrecht steht auf dem Hauptschnitte des Prisma und auf der ursprünglichen Polarisationsebene, so giebt es nur Ein Bild, welches weiß ist, und dies ist das ungewöhnliche Bild. In allen mittleren Stellungen giebt es zwei Bilder, welche stets mit denselben Ergänzungsfarben gefärbt sind; sie nehmen den lebhaftesten Glanz dann an, wenn der Hauptschnitt des Blättchens einen Winkel von $^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$ oder $^7/_2$ Quadranten mit dem Hauptschnitte des Prisma macht.

2) Wenn man den Hauptschnitt des Prisma senkrecht auf die ursprüngliche Polarisationsebene stellt, so beobachtet man analoge Erscheinungen, nur tritt das gewöhnliche Bild an die Stelle des ungewöhnlichen und umgekehrt.

3) Wenn der Hauptschnitt des Prisma weder parallel, noch senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisationsebene steht, so beobachtet man noch die nämlichen Erscheinungen: ein Bild gar nicht und das andere weiß, wenn die beiden Hauptschnitte des Blättchens und des Prisma parallel oder senkrecht gegen einander sind; den größten Glanz in den Farben, wenn die Schnitte einen Winkel mit einander machen, der durch eine ungerade Anzahl Halbquadranten gemessen wird, und immer dieselben Nüancen mehr oder weniger geschwächt in allen mittleren Stellungen. — Man kann also dieselben Wechsel mit dem Dove'schen Apparate noch bequemer hervorbringen, wenn man das Krystallplättchen stehen läßt, und das analysirende Prisma dreht.

Die Blättchen von Bergkrystall, welche dicker als etwa ein halbes Millimeter sind, geben nur sehr schwache Farben; aber alle mehr oder weniger dünne Blättchen geben verschiedene Nüancen, welche im Allgemeinen desto lebhafter sind, je geringer die Dicke ist. Bekanntlich hat man aus den Farbenringen (s. Art. Farbenringe Newton's Bd. III. S. 56) eine gewisse Reihenfolge jeder Farbe abgeleitet, so daß es ein Roth der ersten, zweiten, dritten u. s. w. Ordnung giebt und ebenso ein Orange u. s. w. verschiedener Ordnungen. Biot, der sich sehr genau mit den Farben der Krystallplättchen von derselben Substanz, aber verschiedener Dicke beschäftigt hat, erkannte, daß, wenn man die Dicken auf eine angemessene Weise zunehmen läßt, man eine Reihe von Plättchen herstellen kann, von denen z. B. das erste das Roth der ersten Ordnung, das zweite das Roth der zweiten Ordnung u. s. w. giebt; und indem er die Dicken dieser Plättchen genau verglich, fand Biot, daß dieselbe die Reihenfolge der natürlichen Zahlen 1, 2,

3 u. s. w. befolgen. Mit Hülfe dieses Gesetzes darf man nur wissen, bei welcher absoluten Dicke eine gewisse Farbennüance in einer krystallinischen Substanz erzeugt wird, um zu bestimmen, welche Farbennüance bei einer anderen Dicke erzeugt werden würde, oder welche Dicke die krystallinische Substanz haben müsse, um eine gewisse Farbennüance zu geben. Die einaxigen Krystalle können in dieser Beziehung sehr große Verschiedenheiten darbieten, denn Biot findet z. B., daß ein der Axe paralleles Plättchen kohlensauren Kalkes 18 Mal dünner sein muß, als ein Plättchen Bergkrystall, welches ebenfalls der Axe parallel ist, um dieselbe Farbenstufe zu geben. Daher ist es fast unmöglich, diese Beobachtungen mit kohlensaurem Kalke zu machen.

Nachdem Biot eine große Anzahl sorgfältiger Versuche und Untersuchungen angestellt hatte, versuchte er, alle Erscheinungen durch eine Theorie zu erklären, welche sich auf die Emissionstheorie gründet und als die Theorie der beweglichen Polarisation bekannt ist *). Da diese Theorie, nach welcher angenommen wurde, daß die Polarisationsebene beim Durchgange durch dünne Krystallplättchen in eine Oscillation geräth, durch welche dieselbe um einen gewissen Winkel vor- und rückwärts geführt wird, nämlich um das Doppelte desjenigen Winkels, der zwischen der ursprünglichen Lage der Polarisationsebene und zwischen dem Hauptschnitte des Krystalls enthalten ist, jetzt nur historischen Werth hat, so übergehen wir sie, und werden in dem Folgenden eine Vorstellung von den Principien geben, auf welche (1816) Fresnel's **) Erklärung nach der Vibrationstheorie sich gründet.

Der kleine Kreis, dessen Mittelpunkt C sei (s. beistehende Figur), stellt den senkrechten Durchschnitt eines polarisirten Lichtbündels vor; PP' ist die Richtung seiner ursprünglichen Polarisationsebene. Dieses Lichtbündel begegnet zuerst bei senkrechtem Einfall einem Krystallplättchen, welches parallel der Axe geschnitten ist; LL' ist die Richtung des Hauptschnitts; sie macht einen Winkel a mit der Linie PP' der Polarisationsebene; MM' ist eine Senkrechte auf LL'. Nachdem es durch das Plättchen hindurchgegangen ist, fällt das Lichtbündel auf ein Rhomboid oder ein doppeltbrechendes Prisma, dessen Hauptschnitt nach RR' gerichtet ist; er macht einen Winkel b mit der Linie PP' der Polarisationsebene. BB' ist eine Senkrechte auf den Hauptschnitt RR' des Rhomboids.



Versuchen wir die Bilder, welche hervorgebracht werden, ihre relative Intensität, und die gegenseitige Wirkung des gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahles auf einander zu bestimmen. Wir bezeichnen mit 1 die Intensität des polarisirten Strahles im Augenblicke, wo er auf das Krystallplättchen fällt. Beim Durchgehen durch das Plättchen zerlegt sich das Bündel in zwei andere, ein gewöhnliches und ein ungewöhnliches, welche zur Intensität haben,

*) Lehrbuch der Experimental-Physik von Biot, teutsch von Fechner. 2. Aufl. Bd. V. S. 138, Cap. 2 und S. 159, Cap. 3.)

**) Ann. de Chim. et de Phys. T. XVII. p. 102, 167, 312, auch T. X. p. 288.

das erste: $\cos^2 a = F_o$ polarisirt nach CL,
das zweite: $\sin^2 a = F_e$ polarisirt nach CM'.

Aber das Plättchen ist viel zu dünn, als daß es zwischen ihnen eine merkliche Trennung gebe. Beim Durchgehen durch das Rhomboid zerlegt sich jedes dieser einzelnen Bündel noch in zwei andere:

$$\cos^2 a \text{ giebt } \begin{cases} \cos^2 a \cos^2 (a - b) = F_o + {}_o' \text{ polarisirt nach CR} \\ \cos^2 a \sin^2 (a - b) = F_o + {}_e' \text{ polarisirt nach CB.} \end{cases}$$

$$\sin^2 a \text{ giebt } \begin{cases} \sin^2 a \sin^2 (a - b) = F_e + {}_o' \text{ polarisirt nach CR,} \\ \sin^2 a \cos^2 (a - b) = F_e + {}_e' \text{ polarisirt nach CB'.} \end{cases}$$

Die beiden nach CR polarisirten Theile nehmen dieselbe Richtung, um nach dem Auge zu gelangen, und stellen zusammen das gewöhnliche Bild her; und eben so sind es die beiden nach CB und CB' polarisirten Theile, welche das ungewöhnliche Bild herstellen. Hieraus ergeben sich folgende Elemente:

$$\text{für das gewöhnliche Bild } \begin{cases} \cos^2 a \cos^2 (a - b) = F_o + {}_o' \\ \sin^2 a \sin^2 (a - b) = F_e + {}_o' \end{cases}$$

$$\text{für das ungewöhnliche Bild } \begin{cases} \cos^2 a \sin^2 (a - b) = F_o + {}_e' \\ \sin^2 a \cos^2 (a - b) = F_e + {}_e'. \end{cases}$$

Man wird anfangs glauben, daß die Elemente jedes dieser Bilder sich nur einfach zu einander fügen dürfen, um sowohl das gewöhnliche als das ungewöhnliche Bild herzustellen; aber man muß bedenken, daß die beiden Elemente jedes Bildes nicht dieselbe Geschwindigkeit haben. Beim gewöhnlichen Bilde z. B. hat das Bündel $= F_o + {}_o'$ die gewöhnliche Brechung im Plättchen und im Rhomboid erlitten, während das Bündel $F_e + {}_o'$ die ungewöhnliche Brechung im Plättchen und die gewöhnliche Brechung im Rhomboid erlitten hat. Da nun die gewöhnlichen und die ungewöhnlichen Geschwindigkeiten verschieden sind, so folgt daraus eine Beschleunigung oder eine Verzögerung des einen der beiden elementaren Bündel gegen das andere, und folglich ein Zusammenstimmen oder Nichtzusammenstimmen der Vibrationen, welche mehr oder weniger vollständig sein können, wie wenn diese Bündel in Wirklichkeit mehr oder weniger ungleiche Wege zu durchlaufen hätten. Es sei E der Weg, den das erste Bündel $F_o + {}_o'$, und E' der Weg, den das zweite Bündel $F_e + {}_o'$ zu durchlaufen hat; so wird $E - E'$ die Differenz der durchlaufenen Wege sein; und in diesem Falle zeigt Fresnel, daß die gesammte Intensität, anstatt durch die Summe der beiden elementaren Bündel dargestellt zu sein, oder durch die Summe der Quadrate ihrer Geschwindigkeiten, durch diese Summen mehr dem doppelten Producte dieser Geschwindigkeiten multiplicirt mit $\cos 2\pi \frac{c}{d}$ dargestellt ist. Hierbei bezeichnet π den halben Kreisumfang für den Radius 1; c ist die Differenz der durchlaufenen Wege, welche hier $E - E'$ ist; d ist die Länge einer Undulation für die Art Licht, welche in Betracht kommt. Folglich wird endlich für das gewöhnliche Bild die Intensität $\cos^2 b - \sin 2a \sin 2 (a - b) \sin^2 \pi \left(\frac{E - E'}{d}\right)$. Die Intensität des ungewöhnlichen Bildes wird nach denselben Principien gefunden; nur hat Fresnel gezeigt, daß zu der Differenz der durchlaufenen Wege der beiden das Bild herstellenden Bündel eine halbe Undulation hinzugefügt werden muß, wenn ihre Polarisationsebenen fortfahren

sich von einander zu entfernen (betrachtet von einer einzigen Seite ihres gemeinschaftlichen Durchschnittes), bis eine in die Verlängerung der anderen fällt. Da nun die beiden Bündel $F_o + {}_e'$ und $F_e + {}_e'$, welche das ungewöhnliche Bild geben, polarisirt sind, das eine nach CB, das andere nach CB′, der Verlängerung von CB; so muß zu E — E′, der Differenz der Wege, welche sie in dem Blättchen durchlaufen haben, eine balbe Undulation hinzugefügt werden, welche durch die Verrückung der Polarisationsebene noch verloren geht. Zu der Summe der Intensitäten oder zur Summe der Quadrate der Geschwindigkeiten muß also hinzugefügt werden das Product dieser Geschwindigkeiten multiplicirt mit $\cos 2\pi \left(\frac{E - E'}{d} + \frac{1}{2}\right) = - \cos 2\pi \left(\frac{E - E'}{d}\right)$. Dies giebt für die Intensität des ungewöhnlichen Bildes: $\cos^2 a \sin^2 (a - b) + \sin^2 a \cos^2 (a - b) - 2 \cos a \sin (a - b) . \sin a \cos (a - b) . \cos 2\pi \left(\frac{E - E'}{d}\right)$ oder $(\sin a \cos (a - b) - \sin (a - b) \cos a)^2 + 2 \sin a \cos (a - b) \sin (a - b) \cos a - 2 \cos a \sin (a - b) \sin a \cos (a - b) \cos 2\pi \left(\frac{E - E'}{d}\right)$ oder endlich $\sin^2 b + \sin 2a \sin 2 (a - b) \sin^2 \pi \left(\frac{E - E'}{d}\right)$. Dieses sind, sagt Fresnel, die allgemeinen Formeln, welche die Intensität jeder Art homogenen Lichtes in dem gewöhnlichen und dem ungewöhnlichen Bilde als Functionen der Länge der Undulation und des Unterschieds der Wege E — E′ geben, welche die Strahlen beim Durchgange durch das Krystallplättchen durchlaufen haben. Kennt man die Dicke desselben und die Geschwindigkeiten der gewöhnlichen und der ungewöhnlichen Strahlen in dem Krystall, so wird es leicht sein, E — E′ zu bestimmen. Im Bergkrystall und in den meisten Krystallen von doppelter Brechung erleidet E — E′ nur sehr geringe Veränderungen, je nach der verschiedenen Natur der Lichtstrahlen, so daß man sie als eine constante Quantität für alle Krystalle halten kann, wo die Zerstreuung doppelter Brechung sehr gering ist in Bezug auf die doppelte Brechung. Wenn man nach der Berechnung von E — E′ diese Differenz nach einander durch die mittlere Länge einer Oscillation jeder der 7 Hauptfarben dividirt, und diese verschiedenen Quotienten nach einander in obige Ausdrücke setzt, so erhält man die Intensitäten jeder Art farbiger Strahlen im gewöhnlichen und ungewöhnlichen Bilde, und wird hiernach die Farbenstufen dieser Bilder nach den empirischen Formeln bestimmen können, welche Newton gegeben hat, um die Farbe zu finden, welche aus irgend einer Mischung verschiedener Strahlen sich ergiebt, deren relative Intensitäten man kennt. Deshalb muß man die allgemeinen Formeln, welche die Intensität jeder Art homogenen Lichtes als Function seiner Undulationslänge geben, als den Ausdruck der Farbenstufe, welche weißes Licht selbst giebt, betrachten. — Wir kehren jetzt zu den beiden allgemeinen Formeln zurück, um sie in einzelnen besonderen Fällen zu betrachten.

Gewöhnliches Bild: $\cos^2 b - \sin 2a \sin 2 (a - b) \sin^2 \pi \left(\frac{E - E'}{d}\right)$;

Ungewöhnliches Bild: $\sin^2 b + \sin 2a \sin 2 (a - b) \sin^2 \pi \left(\frac{E - E'}{d}\right)$.

1) Die Summe der Intensitäten beider Bündel giebt wieder die ursprüngliche Intensität, welche als Einheit angenommen wurde. — 2) Bei senkrechtem Einfall ist die Differenz der durchlaufenen Wege in allen Krystallen proportional der Dicke, und in jedem Krystalle hängt sie außerdem ab von der Differenz der Geschwindigkeiten des gewöhnlichen und des ungewöhnlichen Strahles oder der Brechungsexponenten, welche diesen beiden Arten von Strahlen entsprechen. In einem Krystall, wo die Brechungsexponenten beinahe gleich wären, würde eine große Dicke nöthig sein, um z. B. das Roth der ersten Ordnung zu erhalten; während daß, um dieselbe Nüance zu erhalten, nur eine sehr geringe Dicke nöthig wäre, wenn die Brechungsexponenten des gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahles sehr verschieden wären. — 3) Wenn die Differenz der durchlaufenen Wege einer sehr großen Anzahl von Oscillationen gleich ist, so sind die Bilder weiß. Mit Ausnahme dieser Fälle können die Bilder auch noch für andere Verhältnisse weiß sein, welche wir untersuchen wollen. — 4) Die nothwendige Bedingung, daß es keine Farben in den Bildern gebe, ist offenbar, daß der Ausdruck, welcher mit der Länge der Oscillationen variirt, $= 0$ sei, weil dann die Strahlen aller Farben gleiche Intensitäten haben, und Weiß hervorbringen werden. Die Bedingung, unter welcher die Bilder weiß erscheinen, ist also enthalten in dem Ausdruck: $\sin 2a \sin 2(a-b) = 0$; und derselbe kann nur erfüllt sein durch $a = 0$, $a = 1^q$, $a = 2^q$, $a = 3^q$ oder durch $b = a$, $b = 1^q + a$, $b = 2^q + a$, $b = 3^q + a$. Also sind die Bilder immer weiß, erstens wenn der Hauptschnitt des Plättchens parallel oder senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisationsebene ist. Zweitens, wenn der Hauptschnitt des Plättchens parallel oder senkrecht gegen den Hauptschnitt des Rhomboids ist. Dasselbe konnte man von vorn herein wissen, weil in dem ersten Falle das Bündel beim Durchgange durch das Plättchen nur eine einzige Brechung erleidet, und im zweiten Falle beim Durchgange durch das Rhomboid eine einzige Refraction erfährt. — 5) Die nothwendige Bedingung, damit die Bilder mit den lebendigsten Farben gefärbt erscheinen, ist offenbar, daß der Ausdruck, welcher mit den Undulationslängen variirt, sein Maximum erreicht; und dies ist der Fall, wenn sein Coefficient $= 1$ ist, oder wenn $\sin 2a \sin 2(a-b) = 1$. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn $a = 45^0$ und $b = 0^0$. Dies giebt:

$$\text{Gewöhnliches Bild: } \cos^2 \pi \left(\frac{E - E'}{d}\right);$$

$$\text{Ungewöhnliches Bild: } \sin^2 \pi \left(\frac{E - E'}{d}\right).$$

Also die lebhaftesten Farben werden beobachtet, wenn die Axe des Plättchens einen Winkel von 45^0 mit der ursprünglichen Polarisationsebene macht, und wenn zugleich der Hauptschnitt des Rhomboids dieser Ebene parallel ist. Die Erfahrung bestätigt dies. — 6) Die sich endlich ergebende Polarisationsebene kann leicht auf eine allgemeine Weise in dem einen und dem anderen Bilde bestimmt werden. Wenn der Unterschied der durchlaufenen Wege gleich 0^0 oder einer geraden Anzahl halber Undulationen ist, so hat man $E - E' = \frac{2nd}{2}$ oder $\frac{E - E'}{d} = n$. Dies n kann alle ganzen Werthe 0, 1, 2 2c. haben; so hat man $\sin^2 \pi \left(\frac{E - E'}{d}\right)$

$= \sin^2 n\,\pi = 0$. Also für $b = 0$ erlischt das ungewöhnliche Bild, während das gewöhnliche Bild $= 1$ wird, und dieses dann bei seiner Ausstrahlung in die ursprüngliche Polarisationsebene vollkommen polarisirt ist. Wenn die Differenz der durchlaufenen Wege gleich einer ungeraden Anzahl halber Undulationen ist, so hat man $E - E' = (2\,n + 1)\,\frac{d}{2}$ oder $\frac{E - E'}{d} = \frac{2\,n + 1}{2}$ und $\sin^2 \pi \left(\frac{E - E'}{d}\right) = \sin^2 \pi \left(\frac{2\,n + 1}{2}\right) = 1$. Also für $b = 2\,a$ verschwindet das ungewöhnliche Bild, während das gewöhnliche Bild $= 1$ wird; und dieses ist dann bei seiner Ausstrahlung vollkommen in das Azimuth $2\,a$ polarisirt, oder in den Hauptschnitt des Rhomboids. Wenn die Differenz der durchlaufenen Wege weder eine gerade noch eine ungerade Anzahl halber Undulationen ist, so giebt es kein Bild, welches verschwinden könnte, und die ausstrahlenden Bündel sind dann nach verschiedenen Richtungen polarisirt. — Alle Resultate der Formeln stimmen mit der Erfahrung überein.

Krystalle mit einer Axe, auf welche das Lichtbündel schief auffällt. Gesetzt wir hätten ein Krystallplättchen, dessen beide Seiten parallel der Axe geschnitten wären. Dieses Plättchen wird in den Ring 1 des Dove'schen Apparates so gebracht, daß das Licht senkrecht auffällt, aber der Hauptschnitt desselben oder die Richtung seiner Axe mit der ursprünglichen Polarisationsebene einen Winkel von 45° macht. Das hindurchgehende polarisirte Lichtbündel wird dann mit einem Rhomboid oder doppeltbrechenden Prisma untersucht, dessen Hauptschnitt mit der Polarisationsebene zusammenfällt. Wir wissen, daß dann die Farben den lebhaftesten Glanz annehmen. Gesetzt das Plättchen werde jetzt gegen das polarisirte Lichtbündel geneigt, und zwar — um eine bestimmte Vorstellung festzuhalten — entweder in dem Sinne um die Axe oder um die auf dieser stehenden Senkrechte.

1) Wenn das Plättchen um die Axe gedreht wird, so hört die Brechung nicht auf, in einer Ebene senkrecht auf die Axe vor sich zu gehen, und die Geschwindigkeit des ungewöhnlichen Strahles ändert sich nicht mit der Schiefe, und der Unterschied der durchlaufenen Räume bleibt proportional der Länge des Weges im Innern des Plättchens. Hieraus folgt, daß dieselbe Wirkung eintritt, als wenn das Plättchen dicker würde, ohne seine senkrechte Lage gegen das Lichtbündel zu verändern. Folglich gehen die Farben nach und nach in höhere Ordnungen über.

2) Wenn das Plättchen um die auf der Axe stehende Senkrechte gedreht wird, so geht die Brechung in dem Hauptschnitte vor sich, und es ergeben sich zwei Ursachen, welche im entgegengesetzten Sinne wirken. Von der einen Seite ändert sich die ungewöhnliche Geschwindigkeit mit der Schiefe, sie nimmt zu in den positiven Krystallen und ab in den negativen, und in beiden Fällen nähert sie sich der gewöhnlichen Geschwindigkeit. Durch diese Ursache wird also die Differenz der durchlaufenen Wege um so kleiner, je größer die Neigung wird. Es ist, als wenn das Plättchen dünner würde. Von der anderen Seite wird die Länge des Weges der Strahlen im Innern des Krystalles mit der Neigung wachsen, und diese Ursache vermeht immer mehr die Differenz der durchlaufenen Wege; es ist als ob die Plättchenr dicker würden. Man könnte eine krystallisirte Substanz an-

nehmen, welche von der Beschaffenheit wäre, daß sich die zwei entgegen wirkenden Ursachen genau compensirten, und dann würden die Farbenstufen der Bilder bei allen Schiefen unveränderlich bleiben, wenn man die Plättchen neigte, indem man sie um die Senkrechte auf ihre Axe drehte. Im Bergkrystall ist die erste Ursache die überwiegende, woraus zuletzt folgt, daß sich die Färbungen ändern, wie wenn die Plättchen dünner würden. Mithin gehen die Farben in tiefere Ordnungen über, z. B. von der dritten zur zweiten rc. Die Wirkungen werden offenbar nach gewissen Gesetzen complicirter werden, wenn man, um die Plättchen zu neigen, sie um eine Linie dreht, welche weder parallel noch senkrecht gegen die Axe ist.

Alle diese Erscheinungen können mit großer Schärfe und mit großem Glanze an einer Glimmerart beobachtet werden, welche sich in der Lava des Vesuv findet. Ihr blättriges Gefüge giebt seiner Natur nach Plättchen, die man mit der Spitze eines Federmessers beliebig verdünnen kann. Jedes dieser kleinen Plättchen ist ein Krystall mit einer Axe, welche senkrecht auf die beiden Flächen des Plättchens ist. Bei senkrechtem Einfall hat es daher keine Färbung, weil die beiden Strahlen, der gewöhnliche und der ungewöhnliche, sich dann im Sinne der Axe bewegen. Neigt man aber die Plättchen in irgend einem Sinne, so neigt man sie immer im Hauptschnitt, und die Wirkungen sind immer dieselben, wie wenn man ihre Dicke vermehrte. Der Beryll ist auch ein Krystall mit einer Axe, der bei diesen Versuchen angewendet werden kann.

Es ist kaum noch nöthig zu erwähnen, daß man vielfach variirte und noch vollständigere Farbenstufen erhält, wenn man den polarisirten Strahl durch zwei verschiedene Plättchen hindurchgehen läßt, diese Plättchen mögen nun einfach über einander gelegt, oder hinter einander in einen Schieber wie S_6 des Dove'schen Apparates, mittelst zweier Ringe l gesteckt werden. In diesem letzten Falle kann das eine gegen das andere alle möglichen Stellungen erhalten. Die Verdoppelung der Plättchen giebt ein Mittel, Farben in den Krystallen zu entwickeln, wo man bei directer Beobachtung keine entdecken kann. Nehmen wir z. B. ein Plättchen Quarz parallel der Axe, welches mehrere Millimeter oder sogar mehrere Centimeter Dicke hat, und folglich völlig weiße Bilder giebt; so wird es zwei Arten geben, diese Bilder gefärbt zu machen, wie die von Plättchen, deren Dicke kleiner als ein halb Millimeter ist. Man gelangt dazu durch die parallele und die kreuzweise Doppelung. — 1) Die parallele Doppelung. Man nimmt einen negativen Krystall, z. B. Kalkspath, und schneidet davon ein Plättchen parallel der Axe, und von einer solchen Dicke, daß die Differenz der vom gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahl durchlaufenen Wege etwas größer oder kleiner als dieselbe Differenz in dem Quarzblättchen ist. Diese beiden Plättchen legt man so über einander, daß ihre Hauptschnitte unter einander parallel sind, und ihre Verbindung verhält sich wie ein einziges dünnes Plättchen Quarz oder Kalkspath. Der Grund ist klar: im Quarz verliert der ungewöhnliche Strahl an Geschwindigkeit über dem gewöhnlichen, im Kalkspath gewinnt er an Geschwindigkeit. Mithin ist zuletzt die Differenz der durchlaufenen Wege in den zwei über einander gelegten Plättchen nur der Ueberschuß der Differenz der Wege in dem einen über die Differenz der Wege in dem anderen. Das Resultat kann also nach den vorhergehenden Formeln im Voraus berechnet werden. — 2) Kreuzweise Doppelung. Man nimmt einen positiven Krystall, wie den Quarz, und schneidet dann ein Plättchen parallel der Axe und von einer solchen Dicke, daß die Differenz der vom gewöhn-

lichen und vom ungewöhnlichen Strahl durchlaufenen Wege etwas größer oder etwas kleiner sei, als dieselbe Differenz in dem Quarzplättchen. Man legt diese beiden Plättchen so über einander, daß ihre beiden Hauptschnitte senkrecht gegen einander sind, und ihre Verbindung verhält sich wie ein dünnes Plättchen. Der Grund ist klar: der ungewöhnliche Strahl, welcher in dem ersten Plättchen an Geschwindigkeit verloren hat, wird zum gewöhnlichen Strahl in dem zweiten und gewinnt wieder an Geschwindigkeit und so auch umgekehrt; also zuletzt ist die Differenz der durchlaufenen Wege in den beiden gekreuzten Plättchen nur der Ueberschuß der Differenz der Wege in dem einen über die Differenz der Wege in dem anderen; und wenn die beiden Plättchen von derselben Substanz sind, so bringt ihre Verbindung genau dieselbe Wirkung hervor, wie ein einziges Plättchen, dessen Dicke gleich dem Unterschiede der Dicken jener beiden Plättchen ist. Der größeren Einfachheit wegen wurden die Plättchen parallel der Axe angenommen. — Aus diesen Erscheinungen ergiebt sich die einfachste Methode, zu sehen, ob ein gegebener Krystall positiv oder negativ ist. Denn man braucht davon nur ein Plättchen mit parallelen Flächen zu schneiden, welches dick genug ist, um keine Farben zu geben, und es nachher mit einem dicken Plättchen eines bekannten Krystalls, z. B. Quarz, zu verbinden. Entstehen die Farben durch parallele Doppelung, so wird der gegebene Krystall das entgegengesetzte Zeichen von Quarz haben, also negativ sein; entstehen sie durch kreuzweise Doppelung, so wird der gegebene Krystall dasselbe Zeichen wie der Quarz haben, also positiv sein. Man sieht, daß es nur nöthig ist die Hauptschnitte beider Krystalle zu kennen, sowohl des zu untersuchenden, als dessen, mit dem man die Prüfung vornimmt; es ist nicht nöthig, daß die Flächen der Axe parallel sind.

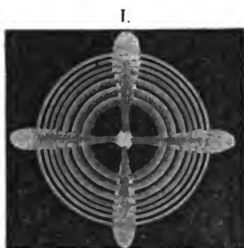
Die Krystalle mit zwei Axen, welche sich am meisten zu den Versuchen eignen, die uns beschäftigen, sind der Glimmer und der schwefelsaure Kalk (blätterige Gyps) wegen ihrer Eigenschaft, sich von Natur in Platten von immer größerer Dünne zu spalten. Die kleinen Blätter des schwefelsauren Kalkes lassen sich ohne Mühe nach ihrem natürlichen Gefüge spalten; sie geben so Parallelogramme mit Seiten, auf welche wir die Richtungen der Axen beziehen werden. Hauy nimmt als ursprüngliche Form dieser Substanz das Parallelogramm an, dessen Seiten im Verhältniß von 13 zu 12 stehen. Wenn man die Seite 12 verdreifacht, indem man der anderen ihren Werth läßt, so erhält man ein neues Parallelogramm, dessen große Axen genau die Richtung der Mittellinie (s. Art. Brechung des Lichtes, Bd. I. S. 898) bezeichnet; die Axen, welche symmetrisch zu beiden Seiten von dieser Linie liegen, machen mit ihr einen Winkel von 30°, und folglich unter einander einen Winkel von 60°. Ist daher ein Blättchen schwefelsauren Kalkes gegeben, so ist es leicht seinen Hauptschnitt zu finden, weil man nur die mittlere Linie zu ziehen, und durch diese Linie einen Schnitt senkrecht auf die Seiten des Plättchens anzunehmen braucht. Um jetzt die durch den schwefelsauren Kalk gegebenen Farben zu untersuchen, wird man die Plättchen in den Ring l des Dove'schen Apparates bringen, wie bei den Krystallen mit einer Axe. Nachher wird man mit dem doppeltbrechenden Prisma die Erscheinungen beobachten, welche das durchgelassene Lichtbündel darbietet. Die Farben werden einen lebhaften Glanz haben, wenn die Plättchen sehr dünn sind, und man wird sich leicht überzeugen können, daß beim senkrechten Einfall alle Erscheinungen um die mittlere Linie im Krystall vor sich gehen, nach denselben Gesetzen, wie um die

Axe bei den einaxigen Krystallen; und durch ein merkwürdiges Zusammentreffen geben gleiche Dicken des Quarzes und des schwefelsauren Kalkes genau dieselben Nüancen. — Die ursprüngliche Form des sibirischen Glimmers ist ein gerades Prisma mit rhombischer Grundfläche, senkrecht auf der Ebene der Plättchen. Die mathematische Axe des Prismas ist die mittlere Linie, und die optischen Axen, welche symmetrisch gegen diese Linie liegen, machen mit ihr einen Winkel von 20° 21′, indem ihre Ebene durch eine der Diagonalen des Rhombus geht. Diese Anordnung ist, wie man sieht, sehr verschieden von der des schwefelsauren Kalkes. Bei senkrechtem Einfall befolgen dennoch die Plättchen des sibirischen Glimmers dieselben Gesetze, wie Plättchen der einaxigen Krystalle, nur daß die Diagonale des Rhombus, welche die Ebene der Axen bestimmt, an die Stelle der einen Axe tritt. Was die absolute Dicke betrifft, welche einen gewissen Farbenton bestimmt, so hat Biot gefunden, daß sie größer als beim schwefelsauren Kalk ist, im Verhältniß von 696 zu 365. Bei Prüfung der Erscheinungen, welche die Plättchen der zweiaxigen Krystalle hervorbringen, sobald der Strahl unter verschiedenen Schiefen auf sie fällt, kann man Methoden zur Bestimmung der Axen selbst ableiten, aber wir werden im Folgenden ein einfacheres und directeres Mittel anzeigen. Um diese Phänomene zu beobachten, genügt es, dünne Plättchen Glimmer oder schwefelsauren Kalk so auf einem schwarzen Grunde horizontal anzuordnen, daß sie das Licht der Wolken empfangen. Betrachtet man sie dann durch einen Turmalin unter dem Polarisationswinkel, so bemerkt man auf ihrer zweiten Oberfläche sehr glänzende einfache Farbenstufen.

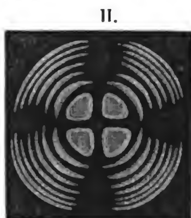
Wir wollen nun bei den einaxigen Krystallen, die besonderen farbigen Ringe untersuchen, welche alle Krystalle doppelter Brechung erzeugen können, und wir wollen als Beispiel den Kalkspath nehmen, welcher sehr regelmäßige Farben giebt. Die allgemeinen Bedingungen der Erscheinung sind: Ein weißes polarisirtes Lichtbündel geht senkrecht durch ein Plättchen, welches senkrecht auf die Axe ist; nach seiner Ausstrahlung betrachtet man es mit einer Turmalinplatte, und man bemerkt eine Reihe runder concentrischer und sehr lebhaft gefärbter Kreise. Die Anordnung des Versuchs ist bereits oben bei Beschreibung des Dove'schen Apparates gegeben, nur daß dort ein Nicol'sches Prisma als Analyseur angeführt ist, während wir hier eine Turmalinplatte angenommen haben. Das Phänomen ändert sich, so wie die Stellung des Turmalins eine andere wird. Umstehende Figur I. stellt die Reihe der Ringe vor, wenn die Axe des Turmalin in der ursprünglichen Polarisationsebene sich befindet. Dann geht durch sie ein schönes schwarzes Kreuz, welches seine beiden Arme auf eine große Entfernung erstreckt. Umsteh. Fig. II. setzt im Gegentheil voraus, daß die Axe des Turmalins senkrecht auf die ursprüngliche Polarisationsebene ist; an die Stelle des schwarzen Kreuzes tritt dann ein weißes Kreuz, und in allen seinen Punkten ergänzt das neue Bild das erste. Wenn man den Turmalin langsam dreht, um ihn aus der ersten Stellung in die zweite überzuführen, so kann man mit dem Auge die Nüancen verfolgen, durch welche die Farben in einander übergehen. Um die Gesetze zu studiren, denen diese Ringe unterworfen sind, genügt es, mit einfachem Lichte zu operiren, indem man z. B. ein rothes Glas in den Weg des polarisirten Lichtbündels stellt, und nachher den Abstand des Auges, die Dicke der Krystallplatte und die Durchmesser der Ringe zu messen. Auf diese Weise gelangt man zu folgenden zwei allgemeinen Gesetzen: 1) In demselben Plättchen folgen die

Quadrate der Durchmesser der Ringe der verschiedenen Ordnungen, die Reihe der Zahlen 0, 1, 2, 3, 4 ꝛc. 2) In Plättchen von verschiedener Dicke sind die Quadrate der Durchmesser derselben Ordnung im umgekehrten Verhältniß der Dicken der Plättchen. — Was die absolute Dicke betrifft, die ein Plättchen einer gegebenen Substanz haben muß, um Ringe von einer gegebenen Größe zu erzeugen, so hängt sie im Allgemeinen ab von dem Verhältniß der gewöhnlichen und ungewöhnlichen Geschwindigkeit des Lichtes im Innern des Krystalls. Die Ursache dieser Abhängigkeit wird aus demjenigen einleuchten, was wir über die Ursache des Phänomens selbst sagen werden. Es sei in beistehender Fig. III. pp' die auf die Axe senkrechte Platte, und O die Stelle des Auges. Der Theil des einfallenden Lichtbündels, welcher gesehen wird, bildet eine Art Lichtkegel OBB', dessen Spitze O sich im Auge befindet, dessen kreisförmige Grundfläche einen mit der Entfernung veränderlichen Durchmesser BB' hat, und dessen Axe mit der Axe des Krystalls zusammenfällt. Die verschiedenen Strahlen dieses Kegels zeigen sehr verschiedene Wirkungen; diejenigen, welche der Axe CO zunächst sind, gehen

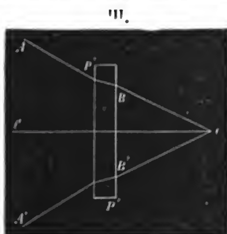
I.



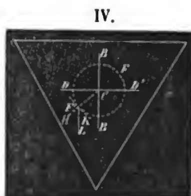
II.



III.



IV.



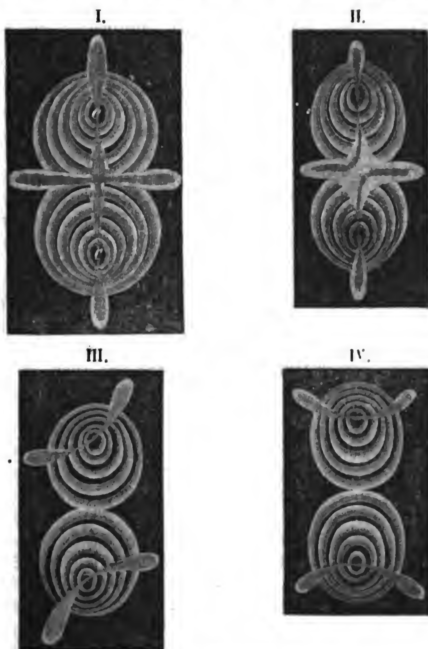
durch die Platte ohne abgelenkt zu werden, und diejenigen, welche sich in der Nähe der Ränder befinden, ABO, gehen schief durch sie hindurch, und sind folglich der doppelten Brechung unterworfen; aber diese beiden Brechungen gehen stets in derselben Ebene vor sich, weil jeder senkrechte Schnitt, der durch CO geht, ein *Hauptschnitt* ist. Ferner erleiden die verschiedenen Strahlen, welche gleichweit von der Axe abstehen, oder in einen und denselben Kreisumfang vertheilt sind, sehr verschiedene Modificationen in ihren Polarisationsebenen; denn wenn man durch DBD'B' der beistehenden Fig. IV. den Durchschnitt des Lichtbündels im

Augenblicke, wo er aus dem Krystallplättchen heraustritt, und durch BB' die ursprüngliche Polarisationsebene darstellt, so ist klar: 1) daß die Strahlen B und B' in der ursprünglichen Ebene polarisirt bleiben, weil ihre Polarisationsebene mit dem Hauptschnitte BB' zusammenfällt, durch den sie durchgehen; 2) daß die Strahlen D und D' ebenfalls in ihrer ursprünglichen Ebene polarisirt bleiben, weil ihre Polarisationsebene senkrecht auf den Schnitt DD' ist, durch welchen sie hindurchgehen; 3) daß solche Strahlen, wie F, sich in zwei andere zerlegen, einen gewöhnlichen, der nach F'H polarisirt ist, und einen ungewöhnlichen, der nach F'K polarisirt ist; denn der Hauptschnitt FF', durch den sie gehen, ist weder senkrecht noch parallel gegen die Ebene F'L oder BB, der ursprünglichen Polarisation. Nun nehmen aber diese letzten Strahlen, indem sie sich so trennen, nothwendig verschiedene Geschwindigkeiten an, der gewöhnliche Strahl gewinnt vor dem ungewöhnlichen einen Vorsprung oder umgekehrt, je nachdem der Krystall positiv oder negativ ist; und entfernt man sich allmälig von der Axe C, so sieht man, daß jener Vorsprung nach und nach gleich einer geraden oder einer ungeraden Anzahl Undulationen wird. Beobachtet man jetzt mit dem Turmalin ein auf diese Weise bestimmtes Lichtbündel, so sieht man leicht, daß Ringe und ein schwarzes oder weißes Kreuz entstehen müssen, je nachdem der Hauptschnitt des Turmalins parallel oder senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisationsebene BB' ist. Um im Voraus die Ordnung der Farbenstufen und die absolute Größe der Ringe zu bestimmen, genügt es, die Stellung des Auges, die Dicke der Platte und die gewöhnliche und ungewöhnliche Geschwindigkeit zu kennen, welche jeder Art einfachen Lichtes entspricht. Die Platten von Kalkspath, welche einige Millimeter oder sogar 2 oder 3 Centimeter Dicke haben, geben ziemlich regelmäßige Ringe. Diese Substanz selbst, so wie die übrigen Krystalle mit einer Axe bieten im Allgemeinen verschiedene Zufälle dar, über welche Herschel interessante Beobachtungen gemacht hat. Zuweilen sind die Ringe mehr oder weniger oval, und wenn man die Platte in ihrer Ebene dreht, so sieht man das schwarze Kreuz in mehr oder weniger gekrümmte Curven sich brechen. Dies ist ein sicheres Zeichen, daß die Krystallisation nicht vollkommen regelmäßig ist. Der Quarz, der Beryl bieten ähnliche Zufälle noch häufiger und mannichfaltiger. Unter allen Modificationen, welche die Erscheinung der Ringe erleiden kann, ist eine der auffälligsten die, welche sich oft beim unterschwefelsauren Kalk und bei gewissen Proben Apophyllit, besonders bei denen, welche von Cipit in Tyrol kommen, zeigt. Diese Substanzen geben ganz andere nüancirte Ringe als die übrigen einaxigen Krystalle. Beim Apophyllit z. B. sind sie fast völlig schwarz und weiß.

Die farbigen Ringe können auf unzählig viele Arten zum Vorschein gebracht werden; denn man braucht nur ein polarisirtes Lichtbündel (natürlich vom Lichte des Himmels oder künstlich durch Zurückwerfung oder Brechung) durch einen Krystall von einer Axe gehen zu lassen, so daß der mittlere Strahl in der Richtung der Axe geht, und endlich es zu beobachten, indem man es nochmals durch Zurückwerfung oder Brechung polarisirt.

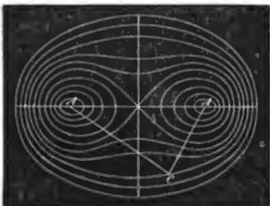
Um die Erscheinung der farbigen Ringe bei den Krystallen mit zwei Axen zu analysiren, wollen wir den Salpeter (das salpetersaure Kali) als Beispiel nehmen. Die Krystalle dieser Substanz sind gewöhnlich Prismen mit 6 Flächen, deren auf die Kanten senkrechter Schnitt ein regelmäßiges Sechseck bildet. Gesetzt man habe durch geeignete Mittel ein Salpeterplättchen senkrecht auf die Länge

des Prisma hergestellt, von ungefähr 1 oder 2 Millimeter Dicke; so liegen die beiden optischen Axen dieses Plättchens in einer Ebene senkrecht auf die Oberflächen, und zwar symmetrisch gegen die Krystallisationsaxe, gegen welche sie eine Neigung von ungefähr 3°, also gegen einander von etwa 6° haben. Nachdem dieses Plättchen in dem Dove'schen Apparate zwischen den beiden Nicol'schen Prismen in der oben angegebenen Weise eingesetzt ist, sieht man bei ausgebreitetem Lichte regelmäßig geordnete brillante Farben, wie Fig. I. vorstellt. Es ist ein doppeltes System von elliptischen oder vielmehr ovalen Ringen. Jedes System hat seinen Mittelpunkt, das eine in C, das andere in C' und ihre Entfernung erscheint dem Auge unter einem Winkel von 6°. Es finden sich zwei rechtwinkelige



schwarze Streifen, deren einer durch die Mittelpunkte geht. Bleiben die Nicol'schen Prismen oder die Turmaline unbewegt, und dreht man das Salpeterplättchen in seiner Ebene, so sieht man die schwarzen Linien sich brechen, sich umgestalten und nach einander diejenigen Stellungen einnehmen, welche in Fig. II., III. und IV. dargestellt sind. Fig. II. zeigt, wie die Erscheinung beim Anfange der Drehung auftritt; Fig. III. entspricht einer Drehung um 22° 30' und Fig. IV.

einer Drehung um 45°. Dieselben Folgen wiederholen sich in jedem Quadranten. Herschel hat zuerst die Linien gleicher Farbenstufe oder die isochromatischen Linien gezeichnet und sich überzeugt, daß sie die den Geometern unter dem Namen Lemniscate bekannte Linie bilden. Die verschiedenen Erscheinungsarten dieser Curve sind in nebenstehender Figur zur Anschauung gebracht. Ihre charakteristische Eigenthümlichkeit ist, daß das Product der beiden Abstände CA und CA' irgend eines Punktes von den beiden Mittelpunkten für dieselben Curven constant und gleich dem Producte der halben Entfernung der Mittelpunkte von einander mit einer bekannten Größe, welche für jede Curve eine andere ist. Das doppelte Ringsystem wird durch die beiden Axen erzeugt, und der Mittelpunkt jedes Systems zeigt die Verlängerung der Axe, um welche es erzeugt wird. Hieraus ergiebt sich sowohl ein leicht zu entdeckendes charakteristisches Merkmal, nach welchem die zweiaxigen Krystalle von den einaxigen zu unterscheiden sind, als ein sicheres Mittel, die absolute Richtung der Axen und den Winkel, den dieselben unter einander machen, zu bestimmen. Man darf nur die Richtung der Schnitte, nach denen man die Plättchen herstellt, so lange verändern, bis sich die Ringe zeigen, wobei man sich durch mineralogische Kennzeichen eine Menge vergeblicher Versuche ersparen kann. Man begreift indessen, daß, wenn die Axen etwas große Winkel unter einander machten, es unmöglich werden würde, zugleich beide Ringsysteme zur Beobachtung zu bringen. Dies kommt in der That vor, z. B. beim Glimmer, dessen beide Axen ebenfalls in einer auf die Plättchen senkrechten Ebene liegen. Bei dieser Substanz verändert sich der Winkel der Axen bei den verschiedenen Exemplaren von 14° bis 45° und selbst bei den kleinsten Winkeln kann man nur die der einen Axe entsprechenden Ringe auf einmal beobachten. Man kann dann auf folgende Weise verfahren. Nachdem man ein Glimmerplättchen von etwa 1 Millim. Dicke gewählt hat, wird man leicht die beiden rechtwinkeligen Schnitte entdecken, in denen das polarisirte Licht durchgeht, ohne seine Polarisationsebene zu verändern. Der eine dieser Schnitte ist der Hauptschnitt, welcher die beiden Axen enthält. Um ihn zu erkennen, setzt man das Plättchen senkrecht einem polarisirten Lichtbündel aus, so daß die Polarisationsebene einen Winkel von 45° mit den beiden erwähnten Schnitten macht, und in dieser Stellung neigt man ihn nach einander um jeden dieser beiden Schnitte. Bei der Neigung um den einen Schnitt findet sich eine Stellung, in der die Ringe und der Strich im Mittelpunkte erscheinen; man weiß dann, daß der Lichtstrahl nach der Richtung einer der Axen fortgeht. Neigt man hierauf im entgegengesetzten Sinne, so daß derselbe Schnitt immer in der Einfallsebene liegt, so findet man eine Stellung, bei der die Ringe erscheinen, und welche mithin die Richtung der zweiten Axe anzeigt. Die beiden Ringsysteme bieten für sich allein im Glimmer betrachtet denselben Anblick dar, wie beide zugleich im Salpeter. — Dove hat neuerdings ein anderes einfaches und sinnreiches Verfahren angegeben *), nach



*) Pogg. Ann Bd. LXXXIX. S. 322.

welchem man, wenn ein zweifelhafter Krystall zweiaxig ist, dies entschieden nachweisen kann. Man schleift aus einem zweiaxigen Krystalle eine Platte senkrecht zur Mittellinie, oder aus einem einaxigen Krystalle senkrecht zur Axe; kann nun diese Platte als analysirende Vorrichtung benutzt werden und zeigt sie Farbenerscheinungen, so ist der fragliche Krystall entschieden zweiaxig; treten hingegen keine Farbenerscheinungen ein, so bleibt die Frage unentschieden. Auf diese Weise hat Dove von einer Reihe von Glimmerarten, die bisher für optisch einaxig gehalten wurden, nachgewiesen, daß sie mit Ausnahme einer einzigen entschieden zweiaxig waren; diese eine, welche aus dem Zillerthale war, könnte aber sehr leicht in dickeren Schichten ebenfalls als optisch zweiaxig erfunden werden, so daß es nur optisch zweiaxigen Glimmer geben würde.

Wenn für alle Farben des Spectrums die optischen Axen genau dieselbe Richtung behielten, und wenn außerdem die Geschwindigkeiten den Längen der Undulationen proportional blieben, so wäre es leicht, in allen Fällen die Nüancen der Ringe der verschiedenen Ordnungen zu berechnen. Aber so wie in verschiedenen Krystallen mit einer Axe die Geschwindigkeiten nach gewissen Gesetzen sich ändern; eben so ist es bei den Krystallen mit zwei Axen, und man beobachtet überdies die merkwürdige Thatsache, daß in vielen Fällen die verschieden brechbaren Farben ihre optischen Axen in merklich verschiedenen Richtungen haben. Schneidet man ein Plättchen weinsteinsaures Kali-Natron ungefähr senkrecht auf eine der Axen und setzt es hernach einem Streifen Sonnenlichte zwischen den beiden im Apparate sich kreuzenden Turmalinen aus, um es nach und nach mit den verschiedenen Farben des Spectrums zu beleuchten, so sieht man, wie die Ringe ihre Stelle verändern, ohne sich umzugestalten; der Mittelpunkt, welcher dem rothen Lichte angehört, ist merklich verschieden von demjenigen, welcher dem violetten Lichte entspricht. So sind auch in homogenem blauen Lichte die Ringsysteme viel enger als in homogenem rothen. Derselbe Umstand würde auch für die Ringe der anderen Axe stattfinden, und Herschel, dem man diese Entdeckung verdankt, scheint durch zahlreiche Versuche bewiesen zu haben, daß die den verschiedenen Farben entsprechenden Systeme von Axen sämmtlich in derselben Ebene enthalten sind. Wenn es daher heißt, ein Krystall habe zwei Axen, so bedeutet dies eigentlich, daß er ein System von 2 Axen für jede einfache Farbe hat, und daß der Winkel dieses Systems mit der Brechbarkeit sich ändert.

Die schönste Erscheinung der Farbenringe zeigt eine durch Kochsalz gefärbte Weingeistflamme. Bei Baryt und kohlensaurem Blei scheiden sich die verschiedenfarbigen Ringe besonders deutlich. Beim Kalkspath sind die beiden inneren Ringe intensiv roth, getrennt durch einen tief blauen Ring, dann folgt ein schwarzer und jenseits des dritten rothen Ringes ein in das Weiße ziehender hellblauer, dem dann mit rothen abwechselnd violette folgen.

Ist die analysirende Vorrichtung ein doppeltbrechender Körper, dessen Hauptschnitt mit der Polarisationsebene zusammenfällt, so erscheinen die reflectirten und die durchgelassenen Ringe neben einander, jene durchschnitten von einem schwarzen, diese von einem weißen Kreuze, die Farben allenthalben complementär. Zwischen Spiegeln mit gekreuzten Reflexionsebenen, desgleichen zwischen Turmalinen mit gekreuzten Axen erscheint nur das reflectirte System mit schwarzem Kreuze; fallen hingegen die Reflexionsebenen der Spiegel oder die Axen der Turmaline zusammen, so erscheint das weiße Kreuz und die Ringe entsprechen den durchge-

lassenen Newton'schen. — Hält man eine durchsichtige Glasplatte zuerst lothrecht auf den polarisirten Strahl, so erscheint die auf die Axe senkrecht geschliffene Krystallplatte völlig farblos; neigt man dann allmälig die Glasplatte immer stärker gegen den Strahl, und zwar so, daß seine Einfallsebene mit der Reflexionsebene zusammenfällt, so erblickt man beim Durchsehen durch die Platte das Ringsystem mit schwarzem Kreuze, beim Sehen auf die Platte das complementäre Ringsystem mit dem weißen Kreuze. Steht die Einfallsebene senkrecht auf der Polarisationsebene, so sieht man nur durch Brechung das, was man vorher durch Spiegelung wahrnahm und umgekehrt.

Da diese Farbenphänomene durch die ungleiche Geschwindigkeit der Aetherbewegung in den verschiedenen Richtungen der nicht zum regulären Krystallisationssysteme gehörigen Krystalle bedingt sind, diese ungleiche Geschwindigkeit aber mit der Anordnung der kleinsten Theile in innigem Zusammenhange steht; so liegt es nahe zu versuchen, ob nicht durch eine Veränderung in der Lage der kleinsten Theilchen eines Körpers, in welchem der Aether nicht in ellipsoidischen, sondern in kugelförmigen Wellenflächen sich fortbewegt, d. h. in welchen der Aether nach allen Richtungen gleiche Geschwindigkeit erhält, auch solche Farbenphänomene hervorgerufen werden können. Körper, in welchen der Aether nach allen Seiten hin mit gleicher Geschwindigkeit sich bewegt, nennt man isotrope Mittel, die entgegenstehenden heterotrope oder anisotrope. Die Erfahrung hat diese Vermuthung bestätigt und somit der Ansicht über die ungleiche Geschwindigkeit des bewegten Aethers in anisotropen Mitteln und über die Abhängigkeit der Farbenphänomene hiervon eine neue Stütze gegeben.

Seebeck*) und Brewster**) haben 1812 gleichzeitig entdeckt, daß plötzlich abgekühltes Glas zwischen den Spiegeln des Polarisationsapparates Farben giebt, während geglühtes, aber langsam abgekühltes dies nicht thut und plötzlich abgekühltes wieder erwärmt und nun langsam abgekühlt seine Farben erzeugende Eigenschaft verliert. Eben so zeigt Glas die Farben, wenn man es von einer der begrenzenden Flächen aus allmälig erwärmt, so lange eine ungleiche Erwärmung des Ganzen noch statt hat. Man hat die Figuren, welche hierbei von der Gestalt des Umfanges bedingt werden, Seebeck'sche oder entoptische Figuren genannt. Bei stärkerem Glase tritt die Erscheinung natürlich leichter und schöner hervor, als bei dünnerem, und es ist klar, daß das Phänomen durch die bekannte ungleiche Spannung im Glase, wie solche die Bologneserflaschen und Springkölbchen oder Glasthränen zeigen, bedingt wird. Das Glas ist doppeltbrechend geworden.

Brewster***) ging nun noch weiter, indem er eine Glasscheibe in einer Schraube zusammenpreßte. Hier zeigen sich zwischen den Spiegeln des Polarisationsapparates Farben, welche sich symmetrisch um die Pressungsaxe ordnen. Es sind auch dies sogenannte entoptische Figuren. Fresnel****) hat

---

*) Schweigg. Journ. Bd. VII. S. 284 und Bd. XII. S. 1.

**) Phil. Transact. for 1814 p. 436; 1816 p. 46; 1818 p. 1. Edinb. Transact. VIII. p. 157 u. 353.

***) Phil. Transact. for 1816 p. 156.

****) Poggend. Ann. Bd. XIX. S. 539. Ann. de Chim. et de Phys. T. XX. p. 376.

durch Zusammenpressung von Prismen wirklich gezeigt, daß doppelte Strahlenbrechung eintritt.

Biot *) versetzte Glas in longitudinale Schwingungen, also in Querschwingungen in Beziehung auf die Richtung des Schalles, und fand eine Einwirkung auf das Licht, einen Lichtblitz, während eine gegen den polarisirten Strahl senkrecht gehaltene Klangscheibe von Glas bei transversalen, also der Richtung des Strahles parallelen, Schwingungen keine Wirkung hervorbrachte.

Die Polarisationserscheinungen des Lichtes sind auch für das praktische Leben nutzbar gemacht worden.

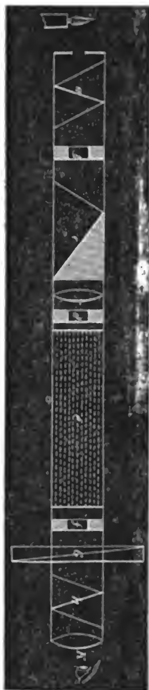
Darauf, daß das von dem blauen Himmelsgewölbe regelmäßig reflectirte Licht in einer durch die Sonne gehenden Ebene stark polarisirt ist, gründet sich die von Wheatstone angegebene Einrichtung einer Sonnenuhr, welche selbst dann noch ihre Dienste verrichtet, wenn die Sonne bereits unter dem Horizonte sich befindet, die Dämmerung aber noch hell genug ist, um Farben unterscheiden zu können. An der Spitze eines etwas abgekürzten Kegels befindet sich ein Nicol'sches Prisma, durch welches ein dünnes Gypsplättchen betrachtet wird, welches auf der Mitte der Grundfläche des Kegels aufgeklebt ist. Diese Grundfläche ist eine mit dem Kegel drehbare Glasscheibe über einer zweiten nicht drehbaren, auf deren Umfange die Stunden so eingravirt sind, daß zwölf in dem lothrechten Durchmesser liegt. Stellt man nun den Kegel so auf, daß die Axe desselben mit der Weltaxe zusammenfällt, so stellt der blaue Himmel einen Polarisationsspiegel dar, dessen Reflexionsebene durch die Axe des Instruments und die Sonne geht. Diese Reflexionsebene dreht sich innerhalb 24 Stunden im ganzen Kreise herum. Das Gypsplättchen ist nun so aufgeklebt, daß, wenn der auf der beweglichen Glasplatte befindliche Zeiger nach der Sonne weist, es vollkommen farblos erscheint. Der Apparat wird also so lange gedreht, bis dies erfolgt, und der Zeiger zeigt dann die wahre Uhrzeit an **). Zu den praktischen Anwendungen kann man auch Folgendes rechnen: Steuert ein Schiff der Sonne zu, so kann es, von dem Glanze geblendet, die Klippe nicht wahrnehmen, welche dicht unter der Wasserfläche ihm Untergang droht. Blickt der wachthabende Matrose durch eine Turmalinplatte, so wird die Gefahr erkannt. — Hält man über ein Buch eine durchsichtige Glastafel so, daß sie das Sonnenlicht stark reflectirt, so ist es unmöglich wegen des blendenden Lichtes, das Buch zu sehen. Durch eine Turmalinplatte betrachtet, verschwindet das reflectirte Sonnenlicht, und man liest die Schrift in voller Deutlichkeit. — Betrachtet man ein auf einem Metallspiegel liegendes farbiges Glas mit bloßem Auge, so sieht man die Farbe nicht sehr lebhaft, da das von der Vorderfläche des Glases reflectirte weiße Licht den Eindruck des farbigen von der Hinterfläche zurückgesendeten schwächt. Hält man aber vor das die farbige Glasplatte unter dem Polarisationswinkel betrachtende Auge ein Nicol'sches Prisma so, daß das von der Vorderfläche reflectirte Licht verschwindet, so tritt sogleich die Farbe des Glases in voller Intensität hervor. — Eben so gehört

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XIII. p. 151. Gilbert's Ann. Bd. LXV. S. 26.

**) Dove, Darstellung der Farbenlehre. S. 100. Lehrbuch der kosmischen Physik von Joh. Müller. S. 256.

hierher ein kleiner Apparat, mittelst dessen man in die Sonne sehen kann, ohne von dem Glanze belästigt zu werden, der sich namentlich auch bei Beobachtungen von Sonnenfinsternissen empfiehlt.

Am wichtigsten ist die Anwendung der Polarisation, insbesondere der circularen Polarisation, bei der Untersuchung von Flüssigkeiten in Bezug auf Reinheit und Zusammensetzung geworden; namentlich ist dies ein Mittel geworden, den Concentrationsgrad einer Zuckerlösung zu erkennen. Biot machte die Entdeckung, daß Rohrzucker, desgleichen Dextrin die Polarisationsebene rechts dreht, während Traubenzucker, so lange er noch nicht fest gewesen ist, eine Drehung nach links bewirkt. Rohrzucker behält die Eigenschaft rechts zu drehen unter allen Umständen. Der Runkelrübensaft, so wie eine Lösung von Runkelrübenzucker, der Saft der Pastinaken, Mohrrüben, desgleichen der Althäasaft zeigen Rechtsdrehung, enthalten also denselben Zucker wie der Saft des Zuckerrohrs. Die Drehung der Polarisationsebene nach Links deutet also bei einem Pflanzensafte auf die Möglichkeit eines Gehaltes an Traubenzucker, während die Drehung nach rechts die Möglichkeit eines Gehaltes an Rohrzucker angiebt. Allerdings stellt sich hier im Allgemeinen nur die Möglichkeit heraus, nicht die Gewißheit, ob Traubenzucker oder Rohrzucker vorhanden ist, da die Drehung nach beiden Seiten auch von anderen, von jenen beiden Zuckerarten verschiedenen Substanzen hervorgebracht werden kann; denn Dextrin bedingt auch eine Drehung nach rechts, und Gummi nach links, ja es könnte auch bei einer Rechtsdrehung Traubenzucker wirksam sein, der schon einmal fest gewesen ist. Hat man aber, wie in Zuckerraffinerien, nur mit demselben Stoffe zu thun, also entweder nur mit Rohrzucker, oder Runkelrübenzucker, so ist die Stärke der Drehung wohl geeignet, den relativen Gehalt der Lösung an der vorliegenden Zuckersorte zu erweisen, da die Drehung von der Stärke des Zuckergehaltes abhängig ist. Man hat alsdann nur nöthig, die Zuckerlösung in der oben angegebenen Glasröhre in den Polarisationsapparat zu bringen und die Größe der Drehung zu ermitteln. Diese scheinbar einfache Methode gewährt aber doch nicht die nöthige Sicherheit, da die Beurtheilung des Farbenbildes seine Schwierigkeiten hat. Zuverlässiger ist folgender Apparat von Soleil, das sogenannte Soleil'sche Saccharometer, von welchem wir hier wenigstens eine Skizze geben wollen.



Die einzelnen Theile denke man sich auf dem Gestelle des Dove'schen Polarisationsapparates. Durch das Nicol'sche Prisma a (s. nebenstehende Figur) erhält man einen polarisirten Lichtstrahl, indem man z. B. das Licht einer Argand'schen Lampe auffallen läßt. Der polarisirte Strahl geht durch eine circular polarisirende Bergkrystallplatte b, erscheint dadurch farbig und zwar in einer Mischfarbe wegen des auf a fallenden zusammengesetzten Lichtes.

Das hierdurch gewonnene Strahlenbündel geht dann durch ein achromatisches Doppelspathprisma c, wird dadurch doppelt gebrochen und in zwei complementär gefärbte Strahlen zerlegt, von denen wegen ihrer starken Divergenz der eine durch eine das Prisma bedeckende Convexlinse etwas gesammelt nach der Quarzplatte d zugeleitet wird, während der andere — zu weit seitwärts gehende — verloren geht. Die Quarzplatte d besteht aus zwei verschiedenen Hälften mit senkrechter Theilungsfläche, so daß diese mit der Längeaxe des Apparates zusammenfällt. Die eine Hälfte der Platte d ist aus einem rechts drehenden, die andere aus einem links drehenden Krystalle geschnitten; da aber beide Hälften gleiche Dicke haben, die eine also eben so stark rechts dreht, wie die andere links, so erscheinen beide in derselben Farbe, obgleich jede Hälfte durch ein besonderes Strahlenbündel gefärbt wird. Gehen diese beiden Strahlenbündel nun durch eine rechts drehende Zuckerlösung in der Röhre e, so vermehrt diese die Wirkung der rechts drehenden Hälfte der Quarzplatte d und schwächt die Wirkung der links drehenden Hälfte, so daß die beiden vorher gleich gefärbten Strahlenbündel verschiedene Farben erhalten und das Gesichtsfeld in diesen beiden durch eine senkrechte Linie getrennten Farben erscheint. Das aus der Röhre e austretende Licht trifft in f auf eine rechts drehende Quarzplatte und dann auf zwei links drehende keilförmige Quarzplatten g, welche so verbunden sind, daß sich durch ein Uebereinanderschieben die gesammte Dicke beider verändern läßt, wodurch folglich die Linksdrehung beider ebenfalls eine Aenderung erleidet, namentlich bei zunehmender Dicke gesteigert wird. Die optische Wirkung der Platte g wird durch die optische Wirkung von f gerade aufgehoben, so lange keine Verschiebung stattgefunden hat, so daß, wenn beide gleichzeitig hinter der Flüssigkeitsschicht e eingeschaltet werden, in dem Zustande des Gesichtsfeldes keine Aenderung eintreten kann. Vergrößert man aber durch Uebereinanderschieben der Platten g ihre gesammte Dicke und damit die links drehende Wirkung derselben, so wirken diese stärker links drehend als f rechts drehend, so daß endlich die rechts drehende Wirkung der Flüssigkeitssäule e aufgehoben werden wird und das Gesichtsfeld wieder einfarbig erscheinen muß. Die Zunahme der Dicke von g muß hierbei dem Drehungsvermögen der Flüssigkeit e entsprechen und kann demnach für diese ein Maß abgeben. Es ist diese Zunahme der Dicke durch eine mit einem Nonius versehene Scala zu messen, welche an den an einander verschiebbaren Keilen sich befindet. h ist das analysirende Nicol'sche Prisma; k ein kleines Galiläisches Fernrohr, um die getheilte Platte d für jedes Auge deutlich einstellen zu können. Das Nicol'sche Prisma a und die Quarzplatte b sind gemeinschaftlich drehbar, um die Farbe des Gesichtsfeldes beliebig wählen zu können. Gewöhnlich nimmt man blaß-bläulich grau, weil diese Farbe am empfindlichsten ist. Noch bemerken wir, daß das Nicol'sche Prisma, wie sonst bei den Polarisationsapparaten um eine Axe, parallel der Längenaxe des Instrumentes, drehbar ist, um den ganzen Apparat auf den Nullpunkt einstellen zu können.

Um die Situation der Hauptschnitte gegen die Flächen und Kanten natürlicher Spaltungsstücke von Krystallen zu bestimmen, um daraus in vielen Fällen, in welchen die äußere Beschaffenheit eines solchen Stückes über das krystallographische System im Zweifel lassen sollte, das letztere zu erkennen, hat Kobell *)

*) Pogg. Ann. Bd. XCV. S. 320; Gelehrte Anzeigen der bayer. Acad. der Wissensch. Bd. XL. Nr. 18, vergl. auch Bd. XLI. Nr. 7 bis 10; Bd. XLII. Nr. 9 u. 10.

zum Gebrauche der Mineralogen ein Instrument unter dem Namen Stauroskop (v. σταυρός, Kreuz und σκοπέω, ich sehe) angegeben, welches ein kleiner Polarisationsapparat ist. Es besteht aus einem kleinen schwarzen Glasspiegel als Polarisator, einer senkrecht zur Axe geschnittenen Kalkspathplatte und einem Turmaline als Analysator, welche in einer bequemen Fassung zusammengestellt sind. Statt des Spiegels kann man natürlich eben so gut eine zweite Turmalinplatte nehmen. Zwischen dem Polarisator und der Kalkspathplatte kann man beliebige Krystallplättchen einschalten, und ein Gradbogen gestattet die Winkel zu messen, um welche man die letzteren gegen die Richtung gewisser Kanten, die vorher mit der Axe des analysirenden Turmalins parallel gemacht wurde, zur Rechten oder Linken drehen muß, um das schwarze Kreuz des Kalkspathes in normaler Lage und Schwärze zu sehen. Schaltet man nämlich eine Platte eines regulären Krystalls ein, so bleibt das Ringsystem und Kreuz des Kalkspaths bei jeder Stellung der eingeschobenen Platte unverändert; bei Einschaltung einer doppeltbrechenden Krystallplatte ist dies jedoch nur dann der Fall, wenn ein Hauptschnitt der eingeschalteten Platte mit der Schwingungsebene des vom Polarisator kommenden Lichtes parallel gerichtet ist. Durch eine Drehung zur Rechten oder Linken kann man, wenn das Kreuz eine Aenderung erfahren hat, dies wieder normal herstellen. Kobell konnte hierdurch nicht nur reguläre Krystalle von doppeltbrechenden unterscheiden, sondern auch künstliche Edelsteine von natürlichen. Optisch zweiaxige Krystallplatten zeigen bei jeder Stellung eine Aenderung. Das 1- und 1axige System unterscheidet sich von dem 2- und 1gliedrigen dadurch, daß bei ersterem die Normalrichtung rechtwinkelig auf den Seitenkanten der Prismen steht, während sie bei letzterem schief gegen dieselben geneigt ist. Schließlich müssen wir noch erwähnen, daß man auch die Mikroskope mit Polarisationsvorrichtungen versehen hat. Es kommt hierbei im Wesentlichen darauf an, einen Polarisator unter dem Objectivtische und einen Analyseur an dem Oculare anzubringen. Ein solches Polarisations-Mikroskop hat Amici ausgeführt, wir begnügen uns aber, da die Sache an sich einfach ist, mit der Notiz *). Ehrenberg **) hat mit Hülfe eines polarisirenden Mikroskops z. B. nachgewiesen, daß der Hirnsand der menschlichen Zirbeldrüse in farbig polarisirtem Lichte ein prächtig zusammengesetztes Lichtbild liefert; eben so zeigen ein solches viele der sternartigen Epidermalschuppen der Hippophaë und Eläagnus-Arten. Eben so ist Stärke, Schießbaumwolle ***) und dergleichen mehr unter solchen Mikroskopen untersucht worden.

Auch an Fernröhren kann man Gebrauch von dergleichen Einrichtungen machen. Bringt man z. B. ein Kalkspathrhomboëder am Oculare an und legt man auf die Oeffnung, welche das Gesichtsfeld abblendet, ein senkrecht gegen die Axe geschnittenes Quarzplättchen oder ein Gypsplättchen, welches nur die Hälfte des Gesichtsfeldes einnimmt, so hat man ein sehr empfindliches Polariskop für das Licht von himmlischen oder irdischen Gegenständen, weil man gleichzeitig die beiden Hälften des Gesichtsfeldes verschiedenartig beleuchtet sieht. H. E.

Polarisation der Wärme. Die Wärmestrahlen, welche sich wie das Licht geradlinig fortpflanzen, nach denselben Gesetzen zurückgeworfen und gebrochen wer-

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 472.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 330.
***) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 168.

den, eben so interferiren und gebeugt werden (s. Art. Inflexion, Bd. IV. S. 83), zeigen auch wie die Lichtstrahlen Polarisationserscheinungen.

Die ersten Versuche, die Polarisation der Wärme nachzuweisen, stellte im Jahre 1812 Bérard mittelst Glasspiegeln, von denen er die Wärme reflectiren ließ, an *). P. Erman **) bestätigte die Thatsache; gleichwohl trug man, namentlich Baden Powell und Nobili ***), Bedenken, dieselbe anzuerkennen, weil man die eingetretene Polarisation als dem mit der Wärme verbundenen Lichte allein zukommend betrachtete, die Wärme aber, welche bei stattfindender Lichtreflexion am Zerlegungsspiegel auftrat, der Absorption derselben an der geschwärzten Spiegelfläche zuschrieb. Der Engländer Forbes ****) und der Italiener Melloni *****) führten jedoch später durch Brechung der Wärmestrahlen den Beweis, daß sowohl dunkle als leuchtende Wärme der Polarisation fähig sei. Am vollständigsten sind die Untersuchungen von Knoblauch †) über die Polarisation der Wärme durch Reflexion, durch einfache Brechung und durch Doppelbrechung. Die circulare Polarisation der Wärme bestätigten Melloni und Biot ††); eine Drehung der Polarisationsebene der strahlenden Wärme durch Magnetismus, desgleichen durch Terpentinöl und Zuckerlösung erwiesen de la Provostaye und Desains †††). Endlich hat Wartmann auch die Polarisation der atmosphärischen Wärme nachzuweisen gesucht.

Knoblauch bewies durch seine Versuche über Polarisation der Wärme durch Reflexion, daß die Polarisationsebene der reflectirten Wärmestrahlen auf der Reflexionsebene senkrecht steht. Er bediente sich eines in der Masse schwarzen Glasspiegels, ließ die Sonnenstrahlen von demselben unter verschiedenen Winkeln reflectiren, dann durch ein Nicol'sches Prisma gehen und nun auf den Thermomultiplicator einwirken. Je nachdem der durch die stumpfen Ecken des Prisma gehende Hauptschnitt auf der Reflexionsebene senkrecht stand oder mit ihr zusammenfiel, zeigte die Galvanometernadel bei verschiedenen Reflexionswinkeln verschiedene Ablenkungen. Bei senkrechter Stellung der Reflexionsebene und des Hauptschnittes ergab sich ein Maximum, beim Zusammenfallen ein Minimum; bei einem Winkel von z. B. 20°, den die Strahlen mit dem Spiegel bildeten, betrug das Maximum der Ablenkung 10°,12, das Minimum 7°,25, so daß eine Differenz von 2°,87 statt hatte. Setzt man die Wärme des Maximums gleich 100, so berechnet sich die Differenz für das Minimum auf 28,4, und dies wäre mithin der verhältnißmäßige auf die Polarisation kommende Antheil der aufgefallenen Wärmestrahlen. In dieser Weise fand Knoblauch:

---

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 218 und Bd. XXXIX. S. 1.

**) Gilbert's Ann. Bd. XLVI. S. 383; vergl. auch Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 161.

***) Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 311 und Bd. XXXVI. S. 531.

****) Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 553; Bd. XXXVII. S. 501; Bd. XLV. S. 64 und 442.

*****) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 218 u. 494; Bd. XXXIX. S. 1; Bd. XLIII. S. 18 u. 257.

†) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 160, 170 u. 177.

††) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 202.

†††) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 571; Bd. LXXXII S. 114.

Winkel zwischen dem Glasspiegel und den einfallenden Strahlen	70°	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°	20°	15°	10°
Polarisirter Wärmeantheil von 100 Wärmemengen:													
a) bei einem schwarzen Glasspiegel	0,0	11,1	40.6	66.6	66.6	69.2	69.2	74.1	41.4	30.5	28.4	25.0	18.8
b) bei einem Stahlspiegel . .	0,0	12,2	17.8	17,8	17,9	17.8	17.8	20.6	20.8	21,1	27.2	34.3	22.6

Es geht hieraus hervor, daß die Güte der Polarisation anfangs zunimmt, je kleiner der Winkel wird, den die Wärmestrahlen mit dem schwarzen Glasspiegel bilden, daß sie bei ungefähr 35° ihr Maximum erreicht, und sich von da ab vermindert, je flacher die Strahlen auf den Spiegel auffallen.

Eben so experimentirte Knoblauch mit einem Stahlspiegel und fand im Gegensatze zu Bérard und Nobili, welche keine Polarisation wahrnehmen konnten, die vorher bereits der Kürze wegen unter b aufgezeichneten Resultate. Es ergiebt sich aus diesen Resultaten, daß die Polarisation der vom Stahlspiegel reflectirten Wärmestrahlen verbessert wird, je mehr ihr Winkel gegen den Spiegel abnimmt, daß aber bei etwa 15° ein Maximum eintritt, dem bei fortgesetzter Verkleinerung des gedachten Winkels eine Verminderung der Polarisation folgt.

Um die Polarisation der Wärmestrahlen durch einfache Brechung nachzuweisen, verfuhr Melloni auf folgende Weise. Er verschaffte sich zunächst parallele Wärmestrahlen, indem er die Wärmequelle in den Brennpunkt einer Linse von Steinsalz — welches bekanntlich am meisten diatherman ist — brachte. Zweckmäßiger ist es noch, die von der Wärmequelle divergirend ausgehenden Strahlen auf eine Linse von Steinsalz fallen zu lassen, den Ort ihrer Vereinigung durch die Wirkung, welche sie auf eine Thermosäule hervorbringen, zu bestimmen, und sie dann durch eine kleinere Steinsalzlinse gehen zu lassen, die mit der ersteren parallel so aufgestellt ist, daß der hintere Brennpunkt dieser mit dem vorderen jener — also wie bei einem astronomischen Fernrohre — zusammenfällt. Die von dem Brennpunkte der Linse ausgehenden Wärmestrahlen treten auf der Hinterfläche derselben parallel aus und bilden gewissermaßen einen Cylinder verdichteter Wärme. Die parallelen Wärmestrahlen, deren Quelle eine Locatellische Lampe war, wurden in einer Entfernung von $0^m,4$ bis $0^m,5$ von der Linse durch eine, mit einer kleinen Oeffnung versehene, Metallplatte aufgefangen und die durch die Oeffnung gehenden auf den Polarisationsapparat geleitet, welcher aus zwei Schichten sehr dünner Glimmerblättchen als Polarisator und Zerleger bestand. Beide gegen die auffallenden Wärmestrahlen geneigten Systeme waren um die Strahlen als Axe drehbar, so daß die Axen der Blättchen beider Systeme sich unter einen beliebigen Winkel zu einander, parallel und sich rechtwinkelig kreuzend stellen ließen; eben so konnte die Neigung der Glimmersysteme zur Axe verändert werden.

Fielen nun die durch den Zerleger hindurchgegangenen Wärmestrahlen auf die Thermosäule, so zeigte die Galvanometernadel, sobald die Axen der Glimmersysteme sich rechtwinkelig kreuzten, eine merkliche Schwächung der hindurchgegangenen Wärmemenge im Verhältniß zu der bei paralleler Axenstellung an. Be-

stand z. B. jedes Glimmersystem aus 5 Blättchen und war der Einfallswinkel 45°, so war bei paralleler Axenstellung die Ablenkung der Nadel 35°,92, bei rechtwinkeliger Kreuzung hingegen nur 28°,54. Die diesen Ablenkungen entsprechenden Kräfte sind 32,01 und 24,95, und hieraus berechnet sich die Menge der polarisirten Wärme, ausgedrückt in Hunderteln der im Falle des Parallelismus durchgelassenen Menge, auf

$$\frac{32,01 - 24,95}{32,01} \cdot 100 = 22,06.$$

Als in die Oeffnung des Metallschirmes eine schwarze Glasplatte gesetzt wurde, so trat zwar in Folge der Absorption eine Veränderung der auf die Thermosäule fallenden Wärmemenge ein, aber das Verhältniß blieb ungeändert. Eben so zeigte es sich beim Durchgange der Wärme durch Alaun, Bernstein, Wasser, Oel oder irgend eine andere diathermane Substanz; auch machte die Wärmequelle, als welche Melloni, außer einer Locatellischen Lampe, eine glühende Platinspirale, eine bis 400° erhitzte Metallplatte und ein blos mit siedendem Wasser gefülltes Gefäß anwendete, keinen Unterschied. Das Verhältniß blieb bei denselben Glimmersystemen in den beiden Stellungen constant. Da nun überdies bei parallel stehenden Refractionsebenen beider Systeme am Zerleger eine starke Reflexion eintrat, während diese bei gekreuzten Ebenen unmerkbar wurde, so konnte der Wärmeverlust bei gekreuzten Axen nicht von einer Absorption der Wärmestrahlen herrühren, sondern mußte lediglich wie beim Lichte der Polarisation zugeschrieben werden.

Die Resultate, welche Melloni bei verschiedenen Neigungen der Glimmersysteme zu den Wärmestrahlen und verschiedener Blättchenzahl fand, sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Neigung der Säulen gegen die Strahlen	Von 100 beim Parallelismus der Refractionsebene durchgelassenen Strahlen polarisirt bei Säulen von:						
	3	5	10	15	20	25	30	35 Blättchen
45°	8,08	22,06	43,73	61,01	68,53	77,32	83,72	88,24
43	11,87	26,46	49,77	66,87	73,20	81,26	87,01	90,95
41	15,87	31,56	55,95	72,82	77,74	84,81	90,04	93,03
39	19,84	36,31	61,56	78,03	82,01	87,72	92,25	94,35
37	23,85	41,03	66,86	82,51	85,01	90,33	93,68	94,97
35	27,77	45,61	71,84	86,30	88,53	92,47	94,79	95,07
33	31,87	50,49	76,34	89,29	90,75	93,93	95,09	95,11
31	35,76	54,39	80,33	91,31	92,51	94,73	95,11	95,06
29	39,73	58,59	83,61	92,67	93,88	95,05	95,16	95,09
27	43,81	62,62	86,60	93,53	94,64	95,06	95,15	95,12
25	47,73	66,51	89,24	94,04	94,89	95,03	95,18	95,06
23	51,89	70,24	91,09	94,31	95,04	95,02	95,08	94,99
21	55,72	73,83	—	—	—	—	—	—
19	59,60	77,37	—	—	—	—	—	—
17	63,55	80,60	—	—	—	—	—	—

Aus den in dieser Tafel enthaltenen Zahlenwerthen ergeben sich nachstehende Folgerungen:

1) Der Antheil der von den Säulen polarisirten Wärme ist desto größer, als der Winkel, unter welchem die Strahlen deren Oberflächen treffen, kleiner ist.
2) Mit Säulen von einer hinlänglichen Anzahl Blättchen erreicht die Wärmepolarisation bei einem gewissen Neigungswinkel ein Maximum, und auf diesem bleibt sie bei allen kleineren Neigungen, welche die Strahlen successiv mit den Blättchen machen können.
3) Die (immer von der Fläche ab gezählte) Neigung, bei welcher der unveränderliche Werth eintritt, nimmt zu mit der Anzahl der Blättchen in den Säulen.

Aus ferneren Versuchen mit Blättchensystemen von 60 und 120 Stücken ergab sich, daß das Maximum bei 33° 30′, vielleicht noch einige Secunden darüber, liegt. Das Gesetz für die Polarisation durch einfache Refraction ist also bei Licht und Wärme ganz gleich. Bemerkt sei nur noch, daß bei schwachen Wärmequellen Melloni die zum Polarisationsapparate hinaustretenden parallelen Strahlen mit einer Steinsalzlinse auffing, welche sie convergirend sämmtlich zum Thermoskope führte.

Forbes fand für verschiedene Wärmequellen kein constantes Polarisationsverhältniß.

Knoblauch bediente sich bei seinen Versuchen über die Polarisation der Wärme durch einfache Brechung eines Polarisationsapparates aus zwei Glassätzen, bestehend aus Platten von 1mm Dicke, 78mm Länge und 13mm Breite, als Polarisator und Zerleger. Die Anzahl der Glasplatten, eben so wie die Neigung gegen die einfallenden Strahlen ließ sich verändern; die Brechungsebenen der hinter einander aufgestellten Glassätze fielen einmal zusammen, ein anderes Mal bildeten sie einen Winkel von 90° auf einander. Die Resultate in diesen beiden Stellungen der Brechungsebenen enthält folgende Tabelle:

Winkel, den die Wärmestrahlen mit der Normale auf die Glasplatten oder Glimmerplatten bildeten	Polarisirter Wärmeantheil bei Anwendung von a zweier Glassätze, b zweier Glimmersätze von							
	3		6		9		12 Platten	
	a	b	a	b	a	b	a	b
0°	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
20°	0	1,1	0	1,9	0	8,1	13	18,5
40°	0	4,0	13	4,4	25	9,5	50	44,4
60°	21	25,3	53	52,9	76	72,2	100	74,2

Hierbei ist wieder die Wärmemenge bei parallelen Brechungsebenen gleich 100 gesetzt. Die Wiederholung derselben Versuche mit zwei Sätzen von Glimmerplatten hat Resultate ergeben, die in vorstehende Tabelle der Kürze wegen gleich mit unter b aufgenommen sind. Bei 12 Glasplatten und einem Einfallswinkel von 60° findet mithin vollständige Polarisation statt.

Als Knoblauch als Zerleger ein Nicol'sches Prisma statt des Glassatzes benutzte, dessen Hauptschnitt einmal in der Brechungsebene des polarisirenden Glassatzes lag, das andere Mal senkrecht darauf stand, erhielt er folgende Resultate.

Winkel, den die Wärmestrahlen mit der Normale auf die Glasplatten bilden	Polarisirter Wärmeantheil bei Anwendung eines analysirenden Nicol's und eines polarisirenden Glassatzes von: 3	6	9	12 Platten
0°	0,0	0,0	0,0	0,0
20	9,6	17,4	30,0	43,8
40	21,6	52,5	63,3	70,0
60	36,2	80,9	96,4	100,0

Das Maximum des Wärmedurchganges fand bei derjenigen Stellung des Nicol's statt, bei welcher sein Hauptschnitt in die Refractionsebene des Glassatzes fiel, das Minimum bei der darauf senkrechten Lage. In Bezug auf die Reflexionsebene hatten die Versuche über Polarisation durch Reflexion gerade das Entgegengesetzte ergeben.

Es ist somit nachgewiesen, daß die Polarisationsebene der vom Glase reflectirten und der von ihm in derselben Ebene gebrochenen Wärmestrahlen einen Winkel von 90° mit einander bilden, wie auch Melloni beim Glimmer gefunden hatte. Die Polarisationsebene der gebrochenen Wärme hat man sich also auf der Reflexionsebene senkrecht zu denken, wenn man die Reflexionsebene selbst als Polarisationsebene der reflectirten Strahlen betrachtet.

Endlich machte Knoblauch noch eine Versuchsreihe, bei welcher das Nicol'sche Prisma der Polarisator und der Glassatz der Zerleger war. Das Ergebniß war folgendes:

Winkel, den die Wärmestrahlen mit der Normale auf die Glasplatten bildeten	Polarisirter Wärmeantheil bei Anwendung eines polarisirenden Nicol'schen Prismas und eines analysirenden Glassatzes von: 3	6	9	12 Platten
0°	0,0	0,0	0,0	0,0
20	8,6	13,0	20,4	50,0
40	25,0	38,4	51,2	68,6
60	47,4	70,9	91,7	100,0

Aus Knoblauch's Versuchen folgt also übereinstimmend mit denen Melloni's an Glimmer, daß die Polarisation der Wärmestrahlen durch einfache Brechung zunimmt:

1) je größer bei einer constanten Anzahl von Glasplatten

der Winkel wird, welchen ihre Normale mit den einfallenden Strahlen bildet;

2) je größer bei constantem Einfallswinkel der Wärmestrahlen die Zahl der Glasplatten ist, welche sie durchdringen.

De la Provostaye und P. Desains haben über die Polarisation der Wärme durch einfache Refraction ebenfalls Versuche angestellt. Sie haben die Reflexion der polarisirten Wärme an Glas untersucht und dabei erkannt, daß Fresnel's theoretische Formeln, gleich wie sie die Verhältnisse des reflectirten Lichtes ausdrücken, auch bei der Wärme Resultate geben, die vom Versuche vollkommen bestätigt werden.

Die Polarisation der Wärme durch Doppelbrechung nachzuweisen, gelang zuerst Forbes im Jahre 1834 mittelst Turmalinplatten. Auch Melloni bediente sich derselben. Dieser befestigte die Turmalinplatten in der Mitte zweier parallelen Diaphragmen von Kork, die das Innere einer runden, ziemlich platten Büchse ausfüllten, welche letztere in der Mitte ein kreisrundes Loch besaß und durch einen gleichfalls durchbohrten Metallschirm in zweckmäßiger Höhe gehalten wurde. Die eine Platte war fest, die andere drehbar mit der Hälfte der Büchse, in welcher sie saß. Striche, an dem Rande angebracht, ließen die beiden Hauptrichtungen der Krystallaxen mit Leichtigkeit erkennen. Die von der Wärmequelle ausgehenden Strahlen wurden mittelst eines Reflectors parallel gemacht, mit einer großen Steinsalzlinse aufgefangen und auf die Turmaline geleitet. Ein starker Antheil der Wärme wird hierbei verschluckt und in gewöhnliche Wärme verwandelt; der andere aber behält seine strahlende Form und setzt seinen Weg fort, zerstreut sich darauf und fällt dann auf eine zweite Linse von kürzerer Brennweite, die um ihre Brennweite jenseits des Brennpunktes der ersten Linse aufgestellt ist, wie oben bereits angegeben worden. Hierdurch erhielt Melloni ein Bündel verdichteter Wärme, welches in den thermoskopischen Apparat eintrat und endlich zu der zweckmäßig vom Loche entfernten Säule gelangte. Sehr verschiedenfarbige Arten von Turmalin wurden angewandt, wobei sich ein sehr verschiedenes Polarisationsvermögen derselben bei derselben Wärmequelle herausstellte. Auch die Wärme verschiedener Wärmequellen zeigte bei denselben Turmalinen ungleiche Polarisation. Folgende Tabelle zeigt die Resultate von einer Locatellischen Lampe als Wärmequelle.

Nr.	Farbe der einzelnen Turmalinpaare	Polarisationsindex in Hunderteln der beim Parallelismus der Axen durchgelassenen Wärmemengen.
1	Dunkelgrün	3,71
2	Bläulichgrün	7,20
3	Blaugrün	8,50
4	Gelblichgrün	9,19
5	Gelblichgrün	11,30
6	Gelbgrün	11,90
7	Röthlichbraun	17,72
8	Schmutzig violett	20,48
9	Fahlgelb	21,89

Der Einfluß verschiedener Wärmequellen ergiebt sich aus folgender Tabelle.

Nr.	Farbe der Turmalinpaare	Polarisationsinder			
		der Argand'schen Lampe mit Glasschornstein	der Locatellischen Lampe	der durch eine Weingeistflamme glühend erhaltenen Platinspirale	der etwa bis 400° C. erhitzten Kupferplatte
1	Dunkelgrün	0,37	3,71	5,27	0,59
5	Gelblichgrün	5,33	11,30	13,89	3,22
8	Schmutzig violett	24,50	20,48	17,20	2,30
9	Fahlgelb	26,21	21,89	18,16	2,98

Die hier gegebenen Zahlenwerthe sind wieder in derselben Weise berechnet, wie es Melloni bei der Polarisation durch einfache Brechung (s. oben) that.

Ungeachtet der großen Verschiedenartigkeit der Erscheinungen bei den verschiedenen Wärmearten ist es nicht nöthig, eine verschiedene Polarisationsfähigkeit bei denselben anzunehmen, vielmehr können alle eine gleiche und vollständige Polarisation im Innern der Turmaline erleiden und dennoch beim Austritte mehr oder weniger polarisirt erscheinen. Es reicht die Annahme hin, daß die Turmaline alle Arten strahlender Wärme doppelt brechen, und einige derselben das eine der beiden, aus dieser Doppelbrechung entspringenden, Bündel bei seinem Durchgange mehr oder weniger absorbiren. Uebrigens hatte schon Forbes die ungleiche Wirkung erkannt, welche von einem und demselben Turmalinpaare auf verschiedenartige Wärmestrahlen ausgeübt wird.

Knoblauch fand bei einem Paar grüner Turmaline, daß von 100, beim Parallelismus der Axen hindurchgehenden, Wärmestrahlen der Sonne 58,5 bei gekreuzter Axenstellung polarisirt wurden. Bei Polarisationsversuchen mit Sonnenwärme zeigten sich demselben auch Nicol'sche Prismen sehr brauchbar, die Forbes bei seinen Versuchen ohne Erfolg angewandt hatte. Außerdem untersuchte er die beiden durch einen natürlichen Kalkspath hervorgebrachten Wärmebilder in Bezug auf ihre Polarisationsverhältnisse und erwies, daß die beiden durch Doppelbrechung in einem solchen Kalkspathe auftretenden Gruppen von Wärmestrahlen in zwei auf einander senkrechten Ebenen polarisirt sind. Endlich schaltete er den Doppelspath in verschiedene Stellungen zwischen zwei Nicol'sche Prismen ein und untersuchte den Einfluß auf den Durchgang der Wärme. Standen die Nicol'schen Prismen zunächst so, daß der Hauptschnitt des einen eine verticale, der des anderen eine horizontale Lage hatte, und wurde der eingeschaltete Kalkspath in seiner Ebene umgedreht, so zeigte sich stets die größte Wirkung auf das Instrument, wenn der Hauptschnitt des Krystalls einen Winkel von 45° mit denen der Nicols bildete. Waren hingegen die Hauptschnitte der beiden Prismen parallel, so zeigte sich bei derselben Stellung des eingeschalteten Kalkspaths ein Minimum. Es ergaben sich also in beiden Fällen für eine ganze Umdrehung des zwischengestellten Kalkspaths vier Maxima und vier Minima der thermischen Wirkung, und zwar fand sich:

1) daß die Maxima, welche bei der Drehung des natürlichen Kalkspaths zwischen den beiden Nicols mit gekreuzten Hauptschnitten auftreten, den Minimis gleich sind, welche sich bei der Drehung des Krystalls zwischen den Nicols mit parallelen Hauptschnitten ergeben;

2) daß die Maxima, welche bei dieser zweiten Nicolstellung durch die Drehung des Kalkspaths hervorgebracht werden, doppelt so groß als die ihr angehörigen Minima sind.

Wurde statt des Doppelspathes mit natürlichen Flächen ein senkrecht gegen die krystallographische Axe geschnittener Kalkspath zwischen den beiden Nicol'schen Prismen eingeschaltet, so traten — wie vorauszusehen war — die eben angegebenen Erscheinungen nicht auf.

Daß die von einer Fläche in schiefer Richtung ausgestrahlte Wärme polarisirt ist, haben de la Provostaye und Desains mittelst einer glühenden Plantinplatte festgestellt, von welcher sie die Wärmestrahlen unter einem Winkel von 35° auf einen Satz Glimmerblättchen fallen ließen. Ein Gleiches fand Angström an den Wärmestrahlen eines erhitzten Messingbleches, welche er durch ein System von 5 Glimmerblättchen gehen ließ. War der Hauptschnitt des Glimmers der Einfallsebene parallel, so betrug die Ablenkung 13³/₄°, bei senkrechter Stellung jedoch nur 11°. Die äußerste Schicht eines erhitzten Körpers übt also auf die aus seinem Innern kommenden Strahlen dieselbe Wirkung aus, wie im gewöhnlichen Zustande auf die Strahlen, welche von außen kommen und in den Körper eindringen.

Die Polarisation der atmosphärischen Wärme hat Wartmann nachgewiesen und gefunden, daß die Polarisationsebene derselben mit der des atmosphärischen Lichtes zusammenfällt. Unter gehörigem Schutze der Thermosäule ließ er die Wärme durch ein Nicol'sches Prisma auf dieselbe fallen und fand zwei Maxima in zwei Stellungen des Prisma, die um 180° von einander ablagen, desgleichen zwei Minima in der Mittelstellung zwischen diesen.

Der Nachweis der Polarisation der Wärme durch Nicol'sche Prismen, welchen Knoblauch geführt hat, ist zugleich durch die hierbei sich herausstellende Vollkommenheit der Wärmepolarisation ein Beleg für die totale Reflexion der Wärmestrahlen, eine Erscheinung, die allerdings auch schon von Herschel*) am Glase, und von Melloni und Forbes am Steinsalze beobachtet worden war. Es ist diese totale Reflexion indessen noch besonders wichtig, weil sie die Wahrscheinlichkeit zeigt, daß bei den Wärmestrahlen auch eine circulare Polarisation sich herausstellen werde. Dies hat denn auch Forbes mittelst eines aus Steinsalz verfertigten Rhomboëders, dessen spitze Winkel 54° und dessen stumpfe Winkel 126° betrugen, nachgewiesen. Stand nämlich die Polarisationsebene der einfallenden Strahlen senkrecht auf der Ebene der totalen Reflexionen, so zeigte sich die austretende Wärme circular polarisirt, während die Polarisation völlig verschwand, sobald beide Ebenen einen Winkel von 45° mit einander bildeten.

Von der Drehung der Polarisationsebene der Wärmestrahlen überzeugte

---

*) Gilbert's Ann. Bd. X. S. 73.

sich Melloni bei seinen Versuchen mittelst senkrecht auf die Axe geschnittener Quarzplatten. Das auf die bereits oben angegebene Weise gewonnene Wärmebündel durchlief die beiden zu einander rechtwinklig gestellten Sätze von Glimmerblättchen, so daß der zweite Satz die Wärmestrahlen vollständig polarisirte. Eine zwischen beide Sätze eingeschobene Quarzplatte von $7^{mm},5$ Dicke, welche die Polarisationsebene für die Strahlen des äußersten Roth um 131^0 und für die des Violett um 331^0 drehte, verdoppelte nun den Ausschlag der Galvanometernadel im Verhältniß zu dem Falle, in welchem die Quarzplatte fehlte; die Ablenkung änderte sich auch nicht, wenn die Platte in ihrer Ebene um ihre Axe gedreht wurde. Wurde die Platte etwas aus dieser Ebene gebracht und gegen die Strahlen gedreht, so zeigte sich der Einfluß der Doppelbrechung. Wurde hinter der ersten Quarzplatte eine zweite gleich dicke, aber entgegengesetzt drehende eingeschaltet, so wurde die durch die erste Platte hervorgebrachte Drehung fast aufgehoben. Eine Quarzplatte von doppelter Dicke brachte auch eine noch einmal so große Drehung der Polarisationsebene der Wärmestrahlen hervor.

Die Resultate sind aus folgender Tabelle ersichtlich:

	Ablenkung am Multiplicator.
Beide gekreuzten Glimmersäulen für sich	$7^0,50$
Hinter den Säulen eine Bergkrystallplatte, dick $7^{mm},5$ . . .	6,35
" " " zwei Bergkrystallplatten, jede dick $7^{mm},5$.	5,80
Zwischen den Säulen eine rechtsdrehende Platte, dick $7^{mm},5$.	12,28
" " " zwei entgegengesetzt drehende Platten, jede dick $7^{mm},5$	8,40
" " " zwei rechtsdrehende Platten, $7^{mm},5 + 5^{mm}$ dick	15,55
" " " eine rechtsdrehende Platte, dick 41^{mm} . .	23,19

Versuche mit schwarzem Glase statt der Glimmerblättchen ergaben ganz entsprechende Resultate.

De la Provostaye und Desains vervollständigten diese Untersuchungen durch Versuche mit die Polarisationsebene drehenden Flüssigkeiten, wie Terpentinöl und Zuckerlösung. Sie benutzten die Wärmestrahlen, welche das äußerste Roth und Grün des Spectrums begleiten, polarisirten dieselben geradlinig durch einen Kalkspath und ließen sie darauf durch mit den Flüssigkeiten gefüllte Röhren laufen, deren Länge bei dem Terpentinöle $0^m,05$ oder $0^m,1$ oder $0^m,15$, bei den Zuckerlösungen stets $0^m,05$ betrug. Die eintretende Drehung der Polarisationsebene war dieselbe, wie für polarisirte Lichtstrahlen; bei dem Terpentinöle der Länge der Flüssigkeitssäulen proportional, bei den Zuckerlösungen dem Sättigungsgrade.

Aus Knoblauch's Versuchen mit Glasspiegeln und Metallspiegeln ersieht man, daß das Maximum der Polarisation der Wärmestrahlen bei der Reflexion von Stahlspiegeln nicht allein bei einem anderen Winkel, als bei der Reflexion vom Glase eintritt, sondern daß auch dieses Maximum selbst, dem sich die Werthe der Polarisation nur sehr allmälig nähern, bedeutend niedriger als das dem Glasspiegel angehörige ist. Es liegt hierin eins der Merkmale, welche die sogenannte elliptische Polarisation der Metallspiegel charakterisiren. Wenn nämlich ein geradlinig polarisirter Lichtstrahl in einem bestimmten Azimuthe und Einfallswinkel von einem Metallspiegel so reflectirt wird, daß seine Polarisationsebene

weder mit der Einfallsebene zusammenfällt, noch auf ihr senkrecht steht, so geht er in einen elliptisch polarisirten über.

Die Wärmestrahlen zeigen also unter denselben Verhältnissen dieselben Polarisationszustände, wie das Licht. H. E.

Polarisation, elektrische, s. Galvanismus Bd. III. S. 350 ff.

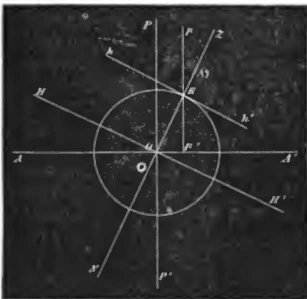
Polarkreise der Erde nennt man Kreise, welche dem Aequator, auf beiden Seiten desselben, parallel um die Erde gehen und von den Polen um die Schiefe der Ekliptik abstehen (s. Art. Erde Bd. II. S. 874, auch Art. Himmelskugel Bd. III. S. 803 ff.). Denkt man sich die Ebenen, in welchen die Polarkreise der Erde liegen, verlängert, bis sie das Himmelsgewölbe treffen, so erhält man an diesem die Polarkreise des Himmels.

Polarlicht, s. Nordlicht.

Pole nennt man einmal zwei Punkte, die rücksichtlich ihrer Lage einen gewissen Gegensatz, wie Rechts und Links oder Oben und Unten, darbieten. In diesem Sinne spricht man von den Erdpolen, als den Endpunkten der Linie (Axe), um welche sich die Erde wirklich dreht, und eben so auch von den Himmelspolen in Rücksicht auf die scheinbare Bewegung des sogenannten Himmels (s. Art. Erde Bd. II. S. 873). Dann versteht man aber auch unter diesem Ausdruck zwei Punkte oder auch Seiten eines Körpers, die außer der Verschiedenheit der Lage noch einen gewissen qualitativen Gegensatz zeigen. In diesem Sinne ist die Rede von den Polen eines Magnets oder einer voltaischen Säule (s. Art. Magnetismus und Galvanismus), und in einem ähnlichen, wenn auch nicht gleichen Sinne spricht man von polarisirten Lichtstrahlen, als solchen, die nicht nach allen Richtungen oder Seiten gleiche Eigenschaften darbieten (s. Art. Polarisation des Lichtes).

Polhöhe ist der Meridianbogen, welcher zwischen dem Horizonte und dem über diesem befindlichen Pole des Aequators liegt, also, da der Bogen durch den Centriwinkel gemessen wird, der Winkel, welchen an dem Beobachtungsorte die Mittagslinie mit der Weltaxe bildet.

Es sei in nebenstehender Figur O der Mittelpunkt der Erde, E der Beobachtungsort auf der Oberfläche derselben, ZEON die Verticale des Beobachtungsortes, also Z das Zenith, HH' der wahre Horizont, also senkrecht auf ZON im Mittelpunkte der Erde, hh' der scheinbare Horizont, pEp' eine Parallele durch den Beobachtungsort mit der Weltaxe POP' und AOA' senkrecht auf POP' der Aequator; so ist $\angle EOA' = b$ die geographische Breite des Ortes, $\angle pEh = \varphi$ die Polhöhe, $\angle A'OH' = \alpha$ die Aequatorhöhe. Alsdann ist $\varphi + \angle pEZ = b + OEp' = 90^0$, also $\varphi = b$, d. h. die Polhöhe gleich der Breite, und zwar beide gleich $\angle ZOA'$, d. h. gleich dem Abstande des Zeniths von dem Aequator, da $\alpha + b = 90^0$ ist. Wäre



die Erde eine vollständige Kugel, so könnte man ohne Weiteres, da hh' dann stets parallel mit HH' sein würde, Alles auf den Mittelpunkt der Erde beziehen; da die Erde indessen abgeplattet und ein Sphäroid ist, so ist die allgemeine Polhöhe von der geocentrischen, auf die es schließlich ankommt, verschieden. Die zu ermittelnde Polhöhe ist der Winkel, welchen EO mit OA', d. h. die Entfernung des Beobachtungsortes von dem Mittelpunkte der Erde mit der halben großen Axe des Erdsphäroids bildet. Nennt man die halbe große Axe des Erdsphäroids a, die halbe kleine Axe c, $\sqrt{\frac{a^2 - c^2}{a^2}} = \varepsilon$, die allgemeine Polhöhe φ, die geocentrische φ', die Entfernung des Beobachtungsortes von dem Mittelpunkte der Erde $= r$, so ist:

$$r = a\sqrt{\frac{1 + (1 - \varepsilon^2)^2 \operatorname{tgs}^2 \varphi}{1 + (1 - \varepsilon^2) \operatorname{tgs}^2 \varphi}},\ \operatorname{tgs} \varphi' = (1 - \varepsilon^2) \operatorname{tgs} \varphi,$$

$$r = a\sqrt{\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi' \cos (\varphi - \varphi')}}.$$

Setzt man nach Bessel *) $a = 1$ und, wenn e die Excentricität der Erdmeridiane ist, $e^2 = 0{,}006674372$, so erhält man die bequemen Formeln:

$$r \cos \varphi' = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{(1 - e^2 \sin \varphi^2)}},\ r \sin \varphi' = \frac{(1 - e^2) \sin \varphi}{\sqrt{(1 - e^2 \sin \varphi^2)}}.$$

Wegen des näheren Verfahrens die Polhöhe durch Beobachtungen zu bestimmen, müssen wir auf specielle astronomische Werke verweisen, wofür wir das Lehrbuch der sphärischen Astronomie von F. Brünnow, Berlin 1851, empfehlen.

Die Hauptmethoden der Polhöhebestimmung sind:

1) durch eine Höhenbeobachtung (a. a. O. S. 230),
2) durch Circummeridianhöhen (ebenda S. 232),
3) durch Beobachtung des Polarsternes (ebenda S. 241),
4) durch obere und untere Culminationen der Sterne (ebenda S. 253),
5) durch zwei Höhenbeobachtungen (ebenda S. 265),
6) durch drei Höhenbeobachtungen (ebenda S. 275),
7) durch drei Höhenbeobachtungen in der Nähe des Meridians (ebenda S. 291),
8) durch Azimuthalbeobachtungen (ebenda S. 298),
9) durch Beobachtung der Differenzen der Azimuthe und der Höhen eines Sternes (ebenda S. 305). H. C.

Porosität (v. d. griech. πόρος, Loch) heißt die Eigenschaft der Körper, vermöge welcher ihre Massentheilchen nicht in einem durchaus ununterbrochenen Zusammenhange stehen, sondern durch größere oder kleinere Zwischenräume (Poren) unterbrochen werden.

Bei einigen Körpern sind die Poren so groß und auffallend, daß man sie leicht mit dem unbewaffneten Auge wahrnimmt, z. B. beim Brode, Kork, spanischen Rohre, Schwamme, Bimssteine u. s. f., bei anderen erscheinen sie erst bei einer Betrachtung durch das Mikroskop, und noch andere scheinen gänzlich ohne Poren zu sein, indessen wird man auch bei diesen durch verschiedene Erscheinungen zu der Folgerung getrieben, daß ihnen die Poren nicht fehlen, so daß man von

*) Astron. Nachr. S. 438.

allen Körpern sagt, sie seien **porös** oder besitzen **Porosität**. Ein Körper, welcher wenige und kleine Poren hat, heißt **dicht**; besitzt er aber viele und große, so nennt man ihn **locker**.

Durch das Mikroskop überzeugt man sich namentlich von der Porosität aller **festen** vegetabilischen und animalischen Stoffe. Es wird dadurch die Circulation der zur Erhaltung dieser Körper nöthigen Säfte ermöglicht. Wie groß die Anzahl der Poren hier sei, geht daraus hervor, daß man am Korke in einer Strecke von einem Zoll Länge über 1000, und auf einer Fläche der menschlichen Haut von einem Quadratzolle wenigstens eben so viel gezählt hat. Namentlich **Malpighi**, **Leeuwenhoek** und **Adams** haben schon in früherer Zeit dergleichen Zählungen und Untersuchungen vorgenommen *); in neuester Zeit hat F. **Reber** sich wieder damit beschäftigt **) und nachgewiesen, daß die Poren bei allen Körpern unter dem Mikroskope schon bei 200- bis 300maliger linearer Vergrößerung sichtbar werden, wenn man nur hinlänglich dünne Schichten der betreffenden Substanzen der Untersuchung unterwirft. Er nahm die Poren zuerst an den feinen Stäubchen wahr, welche auf einer sorgfältig gereinigten Glasfläche aus anscheinend reiner Luft sich absetzten, aber nichts anderes sind, als äußerst feine Abnutzungsproducte der uns umgebenden Körper. An Eisen und Stahl beträgt nach **Reber's** Messungen die Porenweite zwischen $^1/_{2000}$ und $^1/_{3000}$ Pariser Linien, in Vegetabilien zwischen $^1/_{1000}$ und $^1/_{2000}$, und in animalischen Gebilden zwischen $^1/_{800}$ und $^1/_{2000}$.

Aus der Porosität des Holzes erklärt sich der sogenannte Quecksilberregen, den man mittelst der Luftpumpe hervorbringt; für die Porosität des Leders spricht eben so, daß man Quecksilber durch dasselbe hindurchpressen kann; die Porosität der Eier erkennt man entschieden, wenn man diese in einem Glase mit Wasser unter den Recipienten der Luftpumpe bringt und die Luft verdünnt, indem dann aus dem Innern Luftblasen heraustreten. Es folgt daraus, daß die Eier durch das Eindringen der Luft durch die Poren in Fäulniß übergehen und daß man diesem vorbeugen kann, wenn man die Poren verstopft, was entweder durch einen Ueberzug von geschmolzenem Wachse oder durch Eintauchen in Kalkmilch geschieht. In gleicher Weise ergiebt sich eine Wechselwirkung des Inneren vegetabilischer und animalischer Körper mit der äußeren Luft überhaupt. Durch Offenhaltung der Poren befördert der Mensch seine Verdunstung; daher das fleißige Baden der Bewohner wärmerer Gegenden, da die erleichterte Verdunstung die Abkühlung befördert. Umgekehrt verschließen die Eskimos ihre Poren durch Einreiben mit Thran, unterdrücken die Ausdünstung und hindern die Abkühlung. Hiermit hängt wohl auch zusammen, daß man selten bei Leuten, welche viel mit Fett zu thun haben, also bei Schlächtern, Seifensiedern und dergleichen erfrorne Hände findet. Daß eine Unterdrückung der Ausdünstung am ganzen Körper durch Nichtoffenhalten der Poren der Gesundheit nachtheilig werden kann, versteht sich von selbst; eben so wie andererseits durch die Poren manches äußere Medicament wohlthätig auf den inneren Organismus zu wirken vermag. Hierher gehört auch, daß das künst-

*) Malpighi, Anatome plantarum, London 1676; Leeuwenhoek, Epist. 29, 74 et 88; Adams, Micrographia illustrata, Tab. 48 — 51.

**) F. Reber, Mikroskopische Untersuchungen über die Porosität der Körper. Mit Zusätzen von M. Barry. Königsberg 1854.

liche Ausbrüten der Eier nicht leicht gelingt, wenn die Eier nicht vorher ein paar Tage natürlich bebrütet oder etwas eingeölt worden sind. Geschieht dies nicht, so trocknet die unter der Schaale liegende Haut aus und hindert das Ausschlüpfen des Jungen. Das brütende Huhn wälzt die Eier fortwährend unter einander und theilt der Eierschaale hierdurch ein thierisches Oel mit, welches diese bald durchdringt *). Auf der Porosität fester Körper beruht ferner die Endosmose und Exosmose, worüber in Art. Exosmose, Bd. II. S. 940 das Nähere zu finden ist. Wir erwähnen ferner für die Porosität fester Körper das Eindringen des Wassers in Hydrophan, des geschmolzenen Wachses in Pyrophan, das Färben des Marmors durch harzige Auflösungen u. s. f.

Diejenigen Körper, welche für Gasarten und tropfbare Flüssigkeiten undurchdringlich sind, wie die Metalle, Porcellan, Glas und überhaupt die meisten Körper, welche aus einem tropfbarflüssigen Zustande erstarren, wie Wachs, Leim, Harz und dergleichen, werden gewöhnlich als nicht porös bezeichnet; sie sind es indessen gleichwohl. Reber hat die Poren bei Eisen und Stahl nachgewiesen; überdies sprechen die Volumenveränderungen der Körper dafür, namentlich ihre Compressibilität. Ueberhaupt ist das Nichtdurchdrungenwerden von Flüssigkeiten noch kein Beweis für den Mangel der Poren. Der Kork ist bekanntlich einer der porösesten Körper, und doch läßt er (worauf seine vielfache Anwendung beruht) Flüssigkeiten nicht hindurch, und ein weicher zusammengedrückter sehr poröser Kork, der in den Hals einer mit Gas gefüllten Flasche gesteckt ist, läßt sogar dieses nicht durch sich entweichen.

Auch tropfbarflüssige Körper besitzen Poren, wiewohl man dieselben nicht einmal mit dem Mikroskope wahrnehmen kann. Es sprechen hierfür außer den Volumenänderungen, namentlich außer der Compression der Flüssigkeiten, die Absorptionserscheinungen (Art. Absorption, Bd. I. S. 17), denn wie wäre sonst die Aufnahme so großer Mengen gasförmiger Körper von tropfbaren Flüssigkeiten ohne merkliche Volumenvergrößerung möglich, wenn diese ohne Poren wären? Auch spricht hierfür das Entweichen der Kohlensäure, wenn man geriebenen Zucker in Sauerwasser bringt; ferner das Entweichen der Luft beim Kochen von Wasser, weshalb gekochtes Wasser minder schmackhaft und minder gesund ist, als ungekochtes. Besonders merkwürdig sind die Fälle, wo zwei Flüssigkeiten zusammengegossen ein geringeres Volumen einnehmen, als die Summe des Volumens, welches jede für sich vorher einnahm, beträgt. Mischt man z. B. 2 Theile Wasser mit 1 Th. Weingeist, so ist das Volumen beider um 0,05 kleiner als die Summe beider. Nimmt man Poren der Flüssigkeiten an, so wird man sagen: das Gemisch habe kleinere Poren als jede der einzelnen Flüssigkeiten, oder die eine sei zum Theil in die Poren der anderen eingedrungen.

Von manchen Seiten ist auch das Durchdrungenwerden aller Körper von den sogenannten Imponderabilien als ein Beweis für die Porosität angeführt worden; dem ist jedoch nicht so. Wie sich aus dem Art. Materie, Bd. IV. S. 915 ergiebt, haben wir das Wesen der Imponderabilien im Aether zu suchen, für dessen Dichtigkeit Thompson **) sogar eine Schätzung aufzustellen versucht hat,

*) Minasi in Dingler's polytechn. Journ. Bd. CXXXV. Heft 3. S. 219 und de Frarière ebenda S. 222.

**) Compt. rend. T. XXXIX. p. 529.

und haben den Aether vielmehr mit der Porosität insofern in Beziehung zu setzen, als er zu den die Poren ausfüllenden Stoffen gehört, so daß man nur insofern aus der Wirkung der Imponderabilien auf alle Körper auf die Porosität aller schließen könnte, als dadurch die Gegenwart des Aethers in allen erkannt wird.

Daß auch luftförmige Körper Porosität besitzen, versteht sich nach dem Vorhergehenden von selbst; wir erwähnen nur noch, daß uns die Verdunstungserscheinungen in einem schon mit Luft gefüllten Raume *) als ein besonders beachtenswerthes Moment für dieselbe gelten. H. E.

Potasche, s. Kalium.

Potassium, s. Kalium.

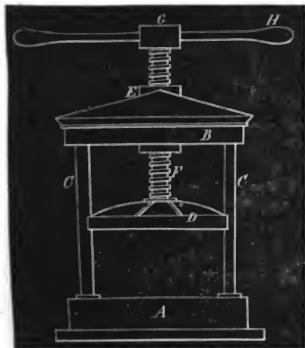
Präcession, s. Nachtgleichen.

Presse. Die Presse ist eine mechanische Vorrichtung zur Erzeugung eines bedeutenden Drucks durch eine verhältnißmäßig geringe Kraft. Die verschiedenen Pressen unterscheiden sich unter einander sowohl nach dem Zweck, den man durch jenen Druck erreichen will, als nach den Mitteln, durch welche man ihn erzeugt. Durch jenen Druck will man entweder lockere Körper auf ein kleineres Volumen bringen (Packpresse), oder gewisse Materien nach ihrer Gestalt oder Oberflächenbeschaffenheit abändern, wie bei den Metallwalzwerken und den Zurichtpressen, oder man will die Adhäsion gewisser Stoffe an einander vermehren und ihre bleibende Vereinigung bewirken, wie bei Form- und Druckpressen, oder man will die in gewissen Körpern enthaltenen Flüssigkeiten von diesen sondern. Zur Erzeugung des Druckes ist fast jede der einfachen Maschinen brauchbar, vorzugsweise wendet man aber dazu an die Schraube, den Keil, den Hebel, zwei Cylinder, deren Wirksamkeit auf das Princip des Keils sich gründet, und das Gesetz der communicirenden Röhren. Hiernach unterscheidet man denn Schraubenpressen, Keilpressen, Hebelpressen, Cylinderpressen und hydraulische Pressen. Die besondere Anwendung der einfachen Maschinen zu Pressen läßt eine große Verschiedenheit zu, so daß fast jedem besondern durch die Presse zu befriedigenden Bedürfniß eine eigenthümliche Einrichtung entspricht. Wir können uns jedoch hier nur auf die wesentlichen Eigenschaften der einzelnen Pressen einlassen.

A. Schraubenpresse. Es stellt uns umstehende Figur eine Schraubenpresse in einfacher Einrichtung dar. Zwischen einer festen Bodenplatte A und einer Kopfplatte B befinden sich drei oder mehrere Docken C C, welche bei eigener hinreichender absoluter Festigkeit Boden- und Kopfplatte unveränderlich mit einander verbinden. Die Preßplatte D ist beweglich zwischen den Docken angebracht und erhält durch diese ihre verticale Führung; der Raum zwischen der Bodenplatte und der Preßplatte ist der Preßraum. Die Kopfplatte hat die Schraubenmutter E in sich aufgenommen, in dieser bewegt sich die Schraubenspindel F, welche an ihrem unteren Ende einen Zapfen hat, der in einer Pfanne der Preßplatte sich bewegen kann, ihr oberes Ende hat den Spindelkopf G, durch welchen der Hebelarm H hindurchgesteckt ist. Wird mittelst des Hebels die Schraube angezogen, so drückt sie die Preßplatte herab und ein zwischen ihr und der Bodenplatte angebrachter Gegenstand erleidet dann die beabsichtigte Pressung.

*) Vergl. Art. Dampf, Bd. II., namentlich S. 153.

Jeder Theil dieser Presse läßt mannichfache Abänderungen zu. Statt der Kopfplatte kann man einen bloßen Querriegel nehmen und hat dann nur zwei Docken nöthig, der Spindelkopf kann auch unmittelbar über der Preßplatte sich befinden, man braucht ihn nicht durch eine Durchbohrung zu schwächen, sondern der Hebel läßt sich mit ihm auch anders verbinden, der Hebel selbst kann durch ein Stirnrad ersetzt werden, in das dann ein Getriebe eingreift, oder statt des Stirnrades kann man eine cylindrische oder conische Riemscheibe wählen. In den beiden letzten Fällen erreicht man auch einen fortwährend und nicht in Absätzen stärker werdenden Druck. Statt einer Schraubenspindel kann man deren zwei, drei oder vier anwenden und ihre gleichzeitige und gleichmäßige Umdrehung durch Getriebe an den Spindeln, in welche ein centrales Stirnrad eingreift, bewirken. Auch kann man, wie bei der Buchbinderpresse, zwei feststehende Spindeln anwenden, die zugleich der Preßplatte zur Führung dienen, die Preßplatte wird dann bewegt, indem gleichzeitig die beweglichen Schraubenmuttern angezogen werden. Die Schraubenspindeln selbst können aus Holz oder Eisen angefertigt werden, ihr Gewinde kann flach oder scharf sein.



Um den Effect der Schraubenpresse festzustellen, sei Q der zwischen der Boden- und Preßplatte erzeugte Druck, P die am Hebelarm wirkende Kraft, R sei die Länge des Hebelarmes, h die Ganghöhe der Schraube, r der mittlere Spindelradius, ϱ der Zapfenradius, μ sei der Reibungscoefficient für die Reibung in der Schraubenmutter, μ' der Coefficient für die Reibung des Zapfens in der Pfanne. Macht die Spindel eine Umdrehung, so ist der Weg der Kraft $2 R \pi$, der Last gleich der Höhe des Schraubenganges h, die Arbeit der Kraft ist also $2 \pi R P$ und die der Last $Q h$; achtet man nun nicht auf die Reibung, so folgt aus der Gleichsetzung dieser beiden Werthe:

$$1) \quad Q = \frac{2 \pi R}{h} . P . \text{ oder } P = \frac{h}{2 R \pi} . Q.$$

Nun kann man ein Gewinde unserer Schraube als eine schiefe Ebene ansehen, deren Höhe h, deren Basis $2 R \pi$ und deren Länge $\sqrt{h^2 + 4 r^2 \pi^2}$ ist, für welchen letzteren Ausdruck wir der Kürze wegen l setzen wollen. Der Druck, welcher zwischen den Gewinden der Spindel und denen der Mutter besteht, rührt zum Theil von der Last Q her, zum Theil von der Kraft P, der erste Theil beträgt $Q . \frac{2 r \pi}{l}$, der zweite $\frac{P R}{r} . \frac{h}{l}$, die Reibung zwischen den Gewinden ist demnach

$\mu\left(\frac{Q.2r^2\pi+PRh}{rl}\right)$, und da während einer Umdrehung der Spindel die Reibung den Weg l zurücklegt, so ist die Arbeit dieser Reibung $\mu\left(\frac{Q.2r^2\pi+PRh}{r}\right)$. Der Druck des Spindelzapfens gegen die Pfanne ist Q, also die Reibung an dieser Stelle beträgt $\mu' Q$, da nun der Mittelpunkt dieser Reibung vom Zapfenmittelpunkt eine Entfernung $\frac{2}{3}\varrho$ hat, so folgt als Arbeit dieser Reibung während einer Spindeldrehung $\frac{4}{3}\mu'\pi Q\varrho$. Jetzt folgt nun die Gleichgewichtsgleichung:

$$P.2R\pi = Qh + \frac{\mu(Q2r^2\pi+PRh)}{r} + \frac{4}{3}\mu'\pi Q\varrho, \text{ und hieraus}$$

$$2)\quad P = \frac{r}{R}.\frac{h+2\mu r\pi+\frac{4}{3}\mu'\varrho\pi}{2r\pi-\mu h}Q \text{ oder } Q = \frac{R}{r}.\frac{2r\pi-\mu h}{h+2\mu r\pi+\frac{4}{3}\mu'\varrho\pi}.P.$$

Um den Einfluß anschaulich zu machen, den die Reibung an der Schraubenpresse ausübt, wollen wir einen bestimmten Fall der Betrachtung zu Grunde legen. Es soll durch die Presse ein Druck von 10000 Pfund hervorgebracht werden, der Hebelarm sei 3′ lang, die Schraubenspindel habe einen Radius von 1″, der Zapfenradius sei halb so groß, die Ganghöhe sei $^3/_4$″. Als Reibungscoefficient wollen wir für das Gewinde $^1/_6$ und für den Zapfen $^1/_8$ nehmen. Fragen wir nun, durch welche Kraft P der verlangte Druck hervorgebracht wird, so folgt aus 2)

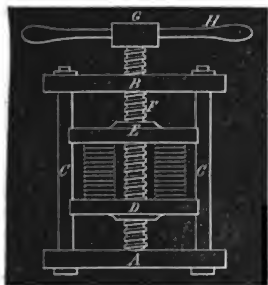
$$P = \frac{1}{36}.\frac{\frac{3}{4}+\frac{1}{3}.3,14+\frac{1}{12}.3,14}{2.3,14-\frac{1}{8}}10000 = 92,9 \text{ Pfund.}$$

Fände keine Reibung statt, so folgte aus 1) $P = 33,2$ Pfd. Von den wirklich als Kraft anzuwendenden 92,9 Pfd. werden also nur 33,2 Pfd. zur Erzeugung des Druckes verwandt, die übrigen 59,7 Pfd., d. i. 64,3 Procent der gesammten Kraft dienen nur zur Ueberwindung der Reibung.

Die Formel 2) setzt voraus und in Folge davon auch das betrachtete Beispiel, daß das Gewinde der Schraube ein flaches sei; hat die Schraube ein scharfes Gewinde, so ist überall der Coefficient μ mit dem Quotienten zu multipliciren, den man erhält, wenn man in dem gleichschenkligen Dreieck, das sich als Querschnitt des Gewindes ergiebt, den Schenkel durch das Höhenperpendikel dividirt.

Will man mit der gewöhnlichen Schraubenpresse mittelst einer kleinen Kraft einen verhältnißmäßig bedeutenden Druck hervorbringen, so kann man entweder die Länge R des Hebelarmes größer machen, oder man wendet ein feineres Gewinde von geringer Höhe an. Vergrößerung des Hebelarmes macht aber die Handhabung der Presse unbequemer, Verminderung der Ganghöhe bringt aber den Nachtheil, daß der Körper des Gewindes nur sehr schwach sein kann, also auch nur mit geringer Kraft am Spindelkern haftet und leicht abgedrückt werden kann.

Dieser letzte Uebelstand, der aus der Feinheit der Gewinde folgt, wird durch die Hunter'sche Differentialschraubenpresse vermieden. Beistehende Figur giebt einen Durchschnitt dieser Presse. Die Bodenplatte A ist mit der Kopfplatte durch die Docken CC fest verbunden, beide Platten können auch durch bloße Querriegel vertreten werden. Die Docken dienen den beiden Preßplatten D und E zur Führung. Die Schraubenspindel F hat zwischen A und B ein doppeltes Gewinde, in der oberen Hälfte ein steileres, in der unteren Hälfte ein flacheres, der Endpunkt der Spindel ruht in A in einer stumpfen Pfanne und bei B hat die Spindel einen einfachen Hals ohne Gewinde, außerhalb des Rahmens endet sie mit dem Kopf G, durch welchen der Hebel H gesteckt ist. Die Muttern für die beiden Schraubengewinde befinden sich in den Preßplatten D und E und die zu pressenden Gegenstände werden in den Raum zwischen D und E gebracht. Nimmt man keine Rücksicht auf Reibung, so wirkt die Presse so, als hätte die Schraube eine Ganghöhe, welche gleich der Differenz der Ganghöhen der beiden Gewinde ist. Denn wird die Spindel so gedreht, daß die Preßplatten sich abwärts bewegen, so schreitet bei jeder Umdrehung der Spindel jede Platte um die Ganghöhe ihres Schraubengewindes vor, beide Platten nähern sich also um die Differenz dieser Ganghöhen und der Erfolg ist also derselbe, als ob nur die obere Platte bewegt würde durch eine Schraube, welche jene Differenz der Ganghöhen zur Ganghöhe hätte.



Bezeichnen wir wieder mit Q den bewirkten Druck, mit P die wirkende Kraft, mit R die Länge des Hebelarms, mit r den Spindelradius, mit h die obere und mit h' die untere Ganghöhe, und mit μ den Reibungscoefficienten, so ist zunächst zu erkennen, daß der Druck Q in doppelter Richtung wirkt, aufwärts gegen E und abwärts gegen D; wirkt der Druck Q im oberen Muttergewinde gegen das Drehbestreben der Kraft P, so wirkt er im unteren Gewinde in demselben Sinne, wie die Kraft P.

Denken wir uns die Kraft P aus zwei Theilen P' und P'' bestehend, so daß der eine Theil das Gleichgewicht im oberen, der andere das Gleichgewicht im unteren Gewinde bewirkt, so folgt aus der Theorie der Schraube (auch schon aus der obigen Formel 2)

$$P' = \frac{r}{R} \cdot \frac{h + 2\mu r \pi}{2 r \pi - \mu h} Q \text{ und } P'' = -\frac{r}{R} \cdot \frac{h' - 2\mu r \pi}{2 r \pi + \mu h'} Q,$$

folglich ist:

$$3) \quad P = \frac{r}{R} Q \left(\frac{h + 2\mu r \pi}{2 r \pi - \mu h} - \frac{h' - 2\mu r \pi}{2 r \pi + \mu h'} \right) =$$

$$\frac{r}{R} Q \cdot \frac{(h - h') 2 r \pi (1 - \mu^2) + 2 \mu (4 r^2 \pi^2 + h h')}{(2 r \pi - \mu h)(2 r \pi + \mu h')},$$

oder wenn man μ^2 gegen 1 vernachlässigt:

$$P = \frac{r}{R} Q . \frac{2 r \pi (h - h') + 2 \mu (4 r^2 \pi^2 + h h')}{(2 r \pi - \mu h)(2 r \pi + \mu h')}.$$

Um auch diese Formel auf einen bestimmten Fall anzuwenden, so sei Q wieder 10000 Pfund, $r = 1''$, $R = 1'$, $h = \frac{3}{4}''$, $h' = \frac{5}{8}''$, $\mu = \frac{1}{8}$; dann folgt

$$P = \frac{1}{12} . 10000 . \frac{\frac{1}{4} . 3{,}14 + \frac{1}{3}\left(4 . 3{,}14^2 + \frac{15}{32}\right)}{\left(2 . 3{,}14 - \frac{1}{8}\right)\left(2 . 3{,}14 - \frac{5}{48}\right)} = 308{,}2 \text{ Pfd.}$$

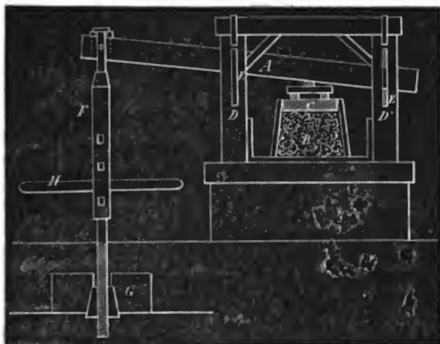
Ohne Rücksicht auf Reibung würden wir erhalten P = 16,6 Pfd. Die Reibung ist also bei der Differentialschraube so bedeutend, daß von der wirklich anzuwendenden Kraft von 308,2 Pfd. nur 16,6 Pfd. zur Erzeugung des Druckes angewandt werden, die übrigen 291,6 Pfd., also 94,6 Proc. sind zur Ueberwindung der Reibung nöthig. Die Differentialschraube arbeitet also viel ungünstiger als die einfache Schraube. Will man daher durch eine Schraubenpresse einen bedeutenden Druck hervorbringen, so thut man in allen Fällen besser, eine einfache Schraube von mäßiger Steigung anzuwenden und dagegen die am Schraubenhebel wirkende Kraft durch ein einfaches oder zusammengesetztes mechanisches Vorgelege zu verstärken; der Vortheil einer Differentialschraube ist nur scheinbar, das Interesse, das sie darbietet, nur ein theoretisches. Dasselbe Urtheil gilt auch von den beiden Verbesserungen, welche die Hunter'sche Differentialschraube durch Curtis *) und Hawson **) erfahren hat, da gerade der Hauptübelstand, nämlich die unverhältnißmäßig vermehrte Reibung, durch diese Verbesserungen nicht berührt ist. Curtis und Hawson hatten nur im Auge, dem Preßdeckel für den Anfang der Pressung, wenn der Widerstand noch nicht bedeutend ist, eine schnellere Bewegung zu ertheilen; beide erreichen ihre Absicht dadurch, daß sie anfangs nur eine Schraube wirken lassen, Curtis, indem er die dem Preßdeckel zugehörige Schraubenmutter mit dem Preßdeckel selbst außer Verbindung bringt, Hawson, indem er zwei concentrische Spindeln anwendet, von denen die stärkere zugleich Mutter für die schwächere ist, und welche beide unabhängig von einander gedreht werden können. Beide Constructionen sind theoretisch interessant, doch praktisch von geringem Nutzen.

B. Hebelpresse. Der einfache einarmige Hebel ist gewiß die einfachste Vorrichtung zur Erzeugung eines größeren Druckes; doch verlangt er, um im besonderen Maße wirksam zu sein, einen großen Raum und läßt sich auch weniger bequem handhaben. Als Beispiel einer Hebelpresse wollen wir die österreichische Weinkelter beschreiben, bei welcher das am Ende des Hebels wirkende Gewicht durch eine Schraube vertreten wird. Es sei A in umstehender Fig. I. der Preßhebel, B der Preßraum, in dem sich die Trauben befinden, C ist der Preßdeckel, auf demselben liegen einige Querhölzer und auf das oberste wirkt der Hebel. In den beiden fest mit der Unterlage verbundenen Pfosten D D' befinden sich die Schlitze

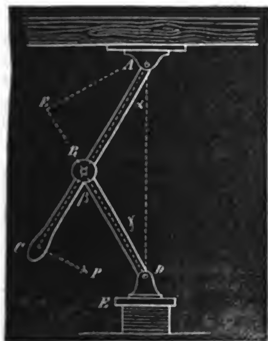
*) Vergl. Dingler's polyt. Journ. Bd. LXIX. S. 15.
**) Vergl. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXIX. S. 95.

EE', durch welche Brettstücke geschoben werden können, um dem Hebel als Drehpunkt zu dienen. Mit dem Endpunkt des Hebels ist die Spindel so verbunden, daß sie ihre verticale Richtung beibehalten kann, die Schraubengänge befinden sich

I.



am unteren Ende der Spindel und die Schraubenmutter ist in einen schweren Mühlstein eingelassen. Der durch die Spindel gesteckte Hebel H dient zur Umdrehung derselben. Man dreht die Spindel so lange, bis der Mühlstein gehoben wird und wartet dann so lange, bis durch den Zug des Mühlsteins die Trauben so weit zusammengedrückt werden, daß der Stein wieder unten aufsitzt. Es ist ersichtlich, daß diese Presse keinen größeren Druck ausüben kann, als der am Endpunkte des Preßhebels hängende Mühlstein bewirkt.



C. Die Kniehebelpresse *). Es sei AC in beistehender Fig. II. ein einarmiger Hebel, der in A seinen festen Drehpunkt hat, in B ist mit ihm die Schiene BD drehbar verbunden, welche bei D mit der Preßplatte E eingelenkt ist. In C wirkt die Kraft, durch welche auf die Preßplatte E ein schnell anwachsender Druck ausgeübt werden kann. Es sei die in C wirkende Kraft P, der auf die Preßplatte ausgeübte Druck sei Q, es sei $CA = a$, $AB = b$, $BD = c$, $< CAD = \alpha$, $< CBD = \beta$; AE denke man sich senkrecht zu BD. Das statische Moment der Kraft P in Bezug

*) Vergl. auch d. Art. Kniepresse, Bd. IV. S. 281.

auf A als Mittelpunkt ist P a; bezeichnen wir den in der Schiene B D in ihrer Längsrichtung wirkenden Druck mit P′, so ist das statische Moment dieses Drucks in Bezug auf A als Mittelpunkt P′ . A E = P′ b sin β. Da diese beiden statischen Momente einander gleich sein müssen, so folgt:

$$P' = \frac{P\,a}{b \sin \beta}.$$

Der senkrecht zur Platte E zu denkende Druck Q ist gleich P′ cos B D A oder P′ cos $(\beta - \alpha)$, folglich ist:

$$Q = \frac{P\,a \cos (\beta - \alpha)}{b \sin \beta}.$$

Diese Formel zeigt, daß Q um so größer wird, je kleiner der Winkel β wird, ja für $\beta = 0$ folgt $Q = \infty$. Da jedoch diese Formel auf die Reibung keine Rücksicht nimmt, so werden die Resultate in der Wirklichkeit etwas geringer ausfallen, als sie nach der Formel sein mußten, immer aber wird man mit einer mäßigen Kraft P einen bedeutenden Druck erzeugen können. Bei der Bewegung des Hebels A C kann aber die Preßplatte nur einen geringen Weg zurücklegen, und zwar muß die Preßplatte um so langsamer vorrücken, je größer der Druck wird. Der größte, durch diese Presse erreichbare Druck wird eintreten, wenn die Richtungen des Hebels A C und der Schiene B D eine gerade Linie bilden. Wir wollen nun bestimmen, wie groß dieser größte Druck unter dem Einfluß der Zapfenreibung sein wird. Da im Augenblicke des größten Druckes die drei Zapfen in A, B und D gleich stark gedrückt werden, so wird man sie auch gleich stark machen müssen; es sei ϱ ihr Halbmesser und μ der Reibungscoefficient. Ist das Maximum des Druckes Q′, so ist μ Q′ die Größe der Reibung an jedem der drei Zapfen. Da aber der Druck Q′ in der Richtung der geraden Linie wirkt, in welche in dem Momente dieses Druckes Schiene und Hebel fallen, so übt er in diesem Augenblick auf das Gleichgewicht der Maschine direct keinen Einfluß aus, sondern die Kraft P steht nur im Gleichgewicht mit der Reibung an den drei Zapfen. Nehmen wir nun an, es trete eine geringe Bewegung ein, so daß A C den kleinen Winkel $d\alpha$ und B D den kleinen Winkel $d\gamma$ beschreibt, so macht also der Zapfen bei A eine Drehung um $d\alpha$, der bei D eine Drehung um $d\gamma$ und der bei B eine Drehung um $d\alpha + d\gamma$; demnach legt die Kraft P den Weg $a\,d\alpha$ zurück, und die drei Reibungen haben bezüglich die Wege $\varrho\,d\alpha$, $\varrho\,d\gamma$, $\varrho\,(d\alpha + d\gamma)$ und es folgt nun nach dem Princip der virtuellen Geschwindigkeit

$$P\,a\,d\alpha = 2\,\mu\,Q'\,\varrho\,(d\alpha + d\gamma).$$

Bei der vorausgesetzten Kleinheit der Drehung ist aber $d\alpha : d\gamma = c : b$, folglich

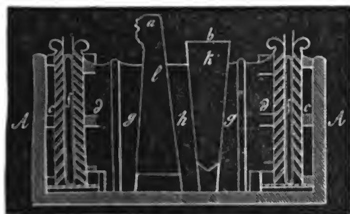
$$P\,a = 2\,\mu\,Q'\,\varrho \left(\frac{b + c}{c}\right) \text{ und } Q' = \frac{P\,a\,c}{2\,\mu\,\varrho\,(b + c)}.$$

Diese Formel zeigt, daß der größtmögliche Druck Q′, abgesehen von den beiden Hauptfactoren P und a, um so größer sein wird, je kleiner der Reibungscoefficient μ und der Zapfenradius ϱ und je kleiner der Hebelarm b gegen die Schienenlänge c ist.

Pressen dieser Art sind vorzüglich brauchbar, wenn es sich um einen Druck handelt, bei welchem der Widerstand zuletzt bedeutend zunimmt, und für welchen

nur ein geringes Vorschreiten der Preßplatte nöthig ist. Man hat sie deshalb als Siegel-, Münzpresse angewandt und selbst Buchdrucker- und Packpressen nach ihrem Princip construirt. Zu dem Ende kann man an die Stelle des Hebels A C ein um A drehbares Rad setzen, so daß der Zapfen B eine Kurbelwarze wird, auf das Rad kann man dann die Kraft etwa mittelst eines Getriebes einwirken lassen.

D. Die Keilpresse. Der Druck, der durch das Eintreiben eines Keils an seinen beiden Seitenflächen ausgeübt wird, kann in einfacher Weise zum Pressen benutzt werden. Von allen übrigen Pressen unterscheiden sich die Keilpressen dadurch, daß die Kraft gewöhnlich nicht als einfacher Druck, sondern als Stoß wirkt; die an den Seiten des Keils auftretende Reibung ist zwar ein wesentliches Hinderniß seines weiteren Vorschreitens, bewirkt aber auch, daß nach dem Aufhören des den Keil treibenden Stoßes oder Schlages der Keil nicht zurückspringt. Als Beispiel einer Keilpresse wollen wir zunächst die gewöhnliche Oelpresse, die bereits in einem besonderen Artikel Keilpresse, Bd. IV. S. 228 beschrieben ist, hier noch einmal betrachten. Durch dieselbe wird aus den zermalmten Oelsamen das Oel ausgepreßt. Es bezeichnet in beistehender Figur A A einen gußeisernen starken Trog. An jedem Ende desselben wird ein Paar gußeiserne Preßplatten c d eingesetzt, die sich mit den an ihren Außenflächen befindlichen Rippen einerseits an die Stirnwände des Troges A, andererseits an die keilförmigen hölzernen Futter g g anlegen. Zwischen die Preßplatte bringt man das in Haartücher eingeschlagene, erwärmte Oelsamenmehl; die Preßplatten stehen aber auf durchlöcherten Platten, damit das ausgepreßte Oel durch dieselben abfließen kann. An die Futter g g legen sich nun an der einen Seite der Lösekeil l, und an der anderen Seite der Preßkeil k, welche durch das Zwischenfutter h von einander getrennt sind.



Zu einer solchen Presse gehören nun noch zwei in der Zeichnung nicht angedeutete Stampfer, einer für den Preßkeil, der andere für den Lösekeil; beide können durch eine Daumenwelle in Bewegung gesetzt werden, aber auch mittelst eines Seiles so gehoben und befestigt werden, daß sie mit der Daumenwelle außer Eingriff sind. Will man nun die Presse benutzen, so bringt man zunächst beide Stampfer zur Ruhe, ordnet die Theile des Preßtroges so, wie die Figur zeigt, wobei man den Lösekeil in seiner Lage dadurch erhält, daß man ihn mit einer Schnur an einem Haken aufhängt. Dann setzt man den zum Preßkeil gehörigen Stampfer in Bewegung, bis der Keil nicht weiter eindringt. Dann kann man die Stampfer des Preßkeils wieder befestigen und den anderen Stampfer gegen den Lösekeil wirken lassen, nachdem man dem ausgepreßten Oel einige Zeit zum Abfließen gelassen hat. Ein oder zwei Schläge genügen, um den Lösekeil l niederzudrücken, worauf sich die Preßplatten zur Erneuerung des Oelsamenmehls herausnehmen lassen.

Um die Wirksamkeit einer solchen Presse zu übersehen, erinnern wir daran,

daß, wenn P die den Keil treibende Kraft ist, Q und Q die gegen die Seiten des Keils wirkenden Widerstände sind, b die Rückenbreite des Keils, h die Höhe und l die Länge des Keils, d. i. des Keildreiecks, und μ der Reibungscoefficient ist, aus der Theorie des Keils folgt:

$$P = \frac{Q}{l}\,(b + 2\,\mu\,h).$$

Der Widerstand Q ist hierbei senkrecht gegen die Keilseiten gedacht. Da aber bei der Keilpresse nur Preßkeile angewandt werden, deren Seiten geringe Neigung zu einander haben, so können wir ohne großen Fehler auch den senkrecht gegen die Keilhöhe wirkenden Preßwiderstand gleich Q setzen und können auch $h = l$ nehmen, dann ist

$$P = Q\left(\frac{b}{h} + 2\,\mu\right).$$

Dringt der Keil nach einem Schlage oder nach mehreren Schlägen um die Tiefe S ein und werden dabei die Preßplatten um den Weg s zusammengedrückt, so ist

$$S = s\,\frac{h}{b}, \text{ also}$$

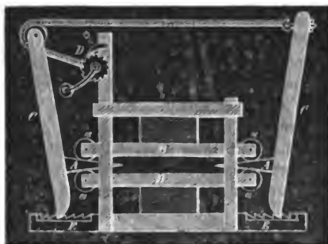
$$PS = QS\left(\frac{b}{h} + 2\,\mu\right) = Qs\left(1 + \frac{2\,\mu\,h}{b}\right).$$

Das Product PS ist die Arbeit der Kraft; wird diese ausgeübt, indem ein Stampfer vom Gewicht G von der Höhe H herabfällt, bevor er den Keil trifft, so legt der Stampfer überhaupt den Weg $H + S$ zurück, und es ist dann:

$$PS = G\,(H + S) = QS\left(\frac{b}{h} + 2\,\mu\right) = Qs\left(1 + \frac{2\,\mu\,h}{b}\right).$$

Aus dieser Gleichung läßt sich das Gewicht G des Stampfers finden, wenn seine Fallhöhe gegeben ist und zugleich verlangt wird, daß ein Preßwiderstand Q auf einen Weg s zurückgedrängt werde. In den eben aufgestellten Formeln giebt das zweite Glied der Klammer den Einfluß der Reibung an den Keilseiten an; je schärfer der Keil ist, desto größer ist dieser Einfluß. Wäre an einer Keilpresse $\mu = \frac{1}{6}$ und $\frac{h}{b} = 9$, so wäre die Arbeit der Reibung dreimal so groß als der Nutzeffect.

Eine andere Keilpresse, bei welcher die Kraft nicht als Stoß wirkt, stellt beistehende Figur dar. Ihre Einrichtung und Anwendung ist aus der Figur ersichtlich. Die beiden Keile A werden zwischen zwei bewegliche Preßplatten B durch zwei Hebel gedrückt, die Reibung wird durch vier Frictionsrollen a vermindert, und die rückgängige Bewegung beim Nachlassen der an einer Kurbelwelle wirkenden Kraft durch ein Sperrrad D verhütet; eine angemessene Stellung der Hebel wird



durch einen sägezähnigen Einsatz E in die Grundschwelle der Presse möglich gemacht.

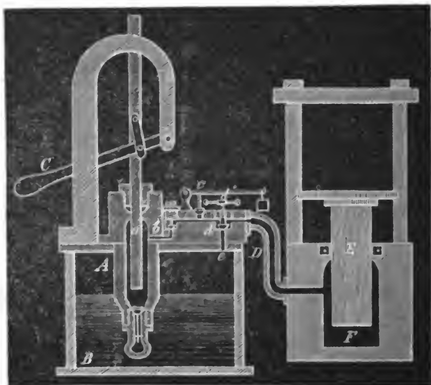
Die Cylinderpressen sind eigentlich ihrem Princip nach auch Keilpressen; sie bestehen in der Regel aus zwei parallelen Cylindern, deren Oberflächen einen gewissen Abstand von einander haben. Der zwischen beide rotirende Cylinder gesteckte Körper wird von ihnen ergriffen, durch sie hindurchgezogen und gepreßt. Da immer nur ein schmaler Streifen des durch die Cylinder gehenden Körpers den Druck erleidet, so kann dieser Druck um so wirksamer gemacht werden. Die Einfachheit der Vorrichtung, die Gleichmäßigkeit der Arbeit, die Intensität des erreichbaren Druckes und vorzüglich die Continuität in der Thätigkeit der Maschine sind Ursachen, warum dieselbe eine sehr mannichfaltige Anwendung in der Technik erfahren hat.

E. Die hydraulische Presse. Allen Erscheinungen aus dem Gebiete des Gleichgewichts und der Bewegung tropfbar flüssiger Körper liegt die Thatsache zu Grunde, daß tropfbar flüssige Massen jeden empfangenen Druck nach allen Seiten hin gleichmäßig fortpflanzen. Wird daher eine allseitig eingeschlossene tropfbare Flüssigkeit nur an einer kleinen Stelle einem gewissen Druck ausgesetzt, so wird augenblicklich dieser Druck durch die ganze Masse sich verbreiten und mit gleicher Stärke an jedem Flächentheil der einschließenden Wand wirksam werden. Da aber nun eine von Wasser gedrückte Fläche einen um so größeren Druck aufnehmen kann, je größer sie selbst ist, so folgt daraus die Möglichkeit, mit Hülfe dieser Eigenschaft der tropfbaren Flüssigkeiten einen geringen Druck in einen größeren umzusetzen. Die wesentlichen Theile einer hydraulischen oder einer Bramah-Presse, wie sie nach ihrem Erfinder auch genannt wird, sind also 1) ein allseitig eingeschlossener mit Wasser gefüllter Raum, 2) eine Vorrichtung, um auf einen kleinen Theil der Grenzfläche dieses Raumes einen Druck fortdauernd auszuüben, und 3) Beweglichkeit eines größeren Theiles von der jenen Raum einschließenden Wandung, um den vom Wasser aufgenommenen Druck nach Außen fortzupflanzen. Durch die bei 2) und 3) erwähnten Vorrichtungen darf aber die erste Bedingung nicht verletzt werden. Man erreicht beide Zwecke dadurch, daß man den Druck durch eine kleine Druckpumpe von verhältnißmäßig kleinem Kolben ausübt, und daß man dem Theil der Wand, welcher den Druck empfangen und fortpflanzen soll, die Gestalt eines Kolbens giebt.

Umstehende Figur stellt eine hydraulische Presse in der jetzt gewöhnlichen Einrichtung dar. A ist die Druckpumpe; diese saugt, wenn der Kolben durch den Hebel C gehoben wird, das Wasser aus dem Wasserkasten B auf, und wenn der Kolben niedergeht, drückt er auf das Wasser, und dieser Druck pflanzt sich durch das Wasser in dem Verbindungsrohre D bis in das große Kolbenrohr F fort und wirkt hier gegen die untere Fläche des Preßkolbens E. Der von diesem Preßkolben aufgenommene Druck ist nun theoretisch eben so oftmal größer als der vom Druckkolben ausgeübte Druck, als die Querschnittsfläche jenes Kolbens größer ist als die Querschnittsfläche dieses Kolbens. Nehmen wir nun an, am Handgriff des Hebels C wirke die Kraft P, der Hebel sei m Mal übersetzt, so übt der Druckkolben einen Druck m P gegen das Wasser. Hat nun der größere Kolben E einen n Mal größeren Durchmesser als der kleinere, so erhält man für den Druck Q, den der Preßkolben aufnimmt, den Werth:

$$Q = m n^2 P.$$

Hierbei sind nun die Widerstände nicht in Rechnung gebracht; der besondere Vorzug, welcher der hydraulischen Presse vor der Schraubenpresse gebührt, liegt darin begründet, daß bei ihr die Hindernisse im Verhältniß viel geringer aus-



fallen als bei der Schraubenpresse. Giebt der Kolben E dem gegen ihn wirkenden Drucke nach, so dringt das vom Druckkolben gedrückte Wasser in den Raum F nach und es muß zu Erhaltung des Druckes und zur Fortsetzung der Pressung in der Druckpumpe ein Kolbenspiel eintreten. Damit aber beim Heraufziehen des Kolbens a das eben in den Raum F fortgedrängte Wasser nicht wieder in die Druckpumpe zurücktrete, befindet sich bei b ein Ventil, das durch eine Spiralfeder niedergehalten wird und dem Wasser den Rückweg eben so bald versperrt, als der Druck von der Druckpumpe her aufhört. Diese letztere muß also das Wasser bei der aufwärtsgehenden Bewegung des Kolbens a aus dem Wasserkasten nehmen. Bei c befindet sich ein Sicherheitsventil, durch welches in gewöhnlicher Weise verhütet werden soll, daß der Druck nie die Festigkeitsverhältnisse des Ganzen übersteige. Bei d befindet sich ein Ventil, das die Röhre e verschließt und für gewöhnlich durch die Schraube d' niedergehalten wird; soll aber nach Vollendung einer Pressung der Preßkolben wieder abwärts geführt werden, so löst man mittelst der Schraube d' jenes Ventil und die Schwere des Preßkolbens E drückt dann das unter ihm befindliche Wasser durch D und e in den Wasserkasten zurück.

Die beiden Kolben der hydraulischen Presse unterscheiden sich von den gewöhnlichen Kolben der Wasser- und Luftpumpen und den Dampfmaschinen dadurch, daß bei ihnen Kolbenstange und Kolben durch denselben metallenen Cylinder gebildet werden; die Liederung sitzt nicht an ihm, sondern an dem Kolbenrohre, und kann am einfachsten durch einen doppelten Lederring gebildet werden, der von dem Wasser selbst gegen den Kolben gedrückt wird. Die Reibung der beiden Kolben in ihrer Liederung ist dann auch fast das einzige Nebenhinderniß, welches die hydraulische Presse zu überwinden hat. Ist h die Höhe des Lederringes für den Druck-

kolben und d der Durchmesser dieses Kolbens, so ist die reibende Ringfläche $= d h \pi$.

Würde bei gänzlich wegfallender Reibung der Druck des Druckkolbens auf eine Wasserfläche von der Größe $\frac{d^2}{4}\pi$ gleich $m P$ sein, so ist er unter dem Einfluß der Reibung gewiß kleiner, bezeichnen wir ihn mit x, so ist jetzt der Druck des Wassers gegen den Lederring $= x \,.\, h d \pi : \frac{d^2}{4}\pi = \frac{4 x h}{d}$, folglich ist die Größe der Reibung $\frac{4 \mu x h}{d}$, wenn μ den Reibungscoefficienten bezeichnet. Diese Reibung und der Gegendruck x des Wassers halten der Kraft P am Hebel das Gleichgewicht, folglich ist

$$m P = x + \frac{4 \mu x h}{d}, \text{ also } x = \frac{m P d}{d + 4 \mu h}.$$

Ist D der Durchmesser des Preßkolbens und h′ die Breite seines Lieberungsringes, so ist der Druck des Wassers gegen denselben $x \,.\, D h' \pi : \frac{d^2}{4}\pi = \frac{4 x D h'}{d^2}$ $= \frac{4 m P h' D}{d (d + 4 \mu h)}$, folglich beträgt die Reibung hier $\frac{4 \mu x D h'}{d^2} = \frac{4 \mu m P h' D}{d (d + 4 \mu h)}$. Der Wasserdruck gegen die Grundfläche des Kolbens ist $x \,.\, \frac{D^2 \pi}{4} : \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{x D^2}{d^2}$ $= \frac{m P D^2}{d (d + 4 \mu h)}$. Wird nun der Kolben senkrecht aufwärts gehoben und ist sein Gewicht G, so bleibt als wirklicher Preßdruck übrig der Werth:

$$Q = \frac{m P D}{d (d + 4 \mu h)} (D - 4 \mu h') - G.$$

Aufgabe. In einer hydraulischen Presse habe der Druckkolben einen Durchmesser von 1″, der Preßkolben einen Durchmesser von 20″, der Lederring am Druckkolben sei $^1/_2$″, am Preßkolben 1″ breit, der Reibungscoefficient sei $^1/_6$, der Druckhebel 8 Mal übersetzt und das Gewicht des Preßkolbens sei 1000 Pfund. Welchen Druck wird die Presse ausüben, wenn am Hebelende eine Kraft von 30 Pfund wirkt?

Unsere Formel giebt unmittelbar:

$$Q = \frac{8 \,.\, 30 \,.\, 20}{1 + 4 \frac{1}{6} \,.\, \frac{1}{2}} \left(20 - 4 \,.\, \frac{1}{6}\right) - 1000 = 68600 \text{ Pfd.}$$

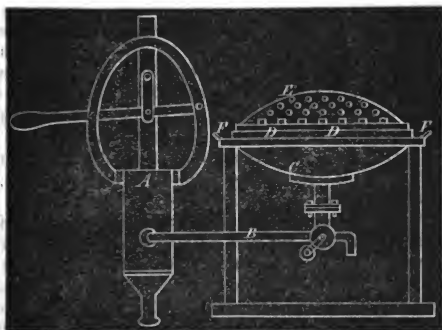
Ohne Einfluß der Reibung würde derselbe Druck durch eine Kraft von 21,4 Pfund hervorgebracht worden sein, die Reibung nimmt also von den wirkenden 30 Pfund nur 8,6 Pfund, also nicht einmal 29 Procent in Anspruch. Es sind zwar bei unserer Rechnung noch einige Widerstände, die bei der Wirksamkeit der hydraulischen Presse vorkommen, außer Acht gelassen, wie z. B. der Widerstand der Röhrenleitung und der Contraction des Wassers, und eben so die

Reibung im Hebelzapfen, doch ist der Einfluß dieser Hindernisse so gering, daß das Resultat nur um ein Geringes durch sie geändert worden wäre. Es bestätigt sich also unsere obige Behauptung, daß bei der hydraulischen Presse die Reibungshindernisse in Vergleich mit denen bei der Schraubenpresse nur gering sind. Unsere Schlußformel zeigt nun noch, daß der Preßdruck zwar mit dem Quadrat des Durchmessers des Preßkolbens wächst, der Einfluß der Reibung wächst aber nur wie der einfache Durchmesser, so daß für recht dicke Kolben der verhältnißmäßige Einfluß der Reibung geringer ausfällt als für dünne Kolben.

Es ist leicht erkennbar, daß der Preßkolben nur langsam vorrücken kann, denn der durch sein Aufsteigen im Preßcylinder frei werdende Raum kann nur langsam durch die Druckpumpe mit Wasser gefüllt werden. Macht die Kraft P am Hebelende den Weg V, so ist der gleichzeitige Weg des Druckkolbens $= \frac{V}{m}$, dadurch wird ein Wasservolumen $\frac{d^2\pi}{4} \cdot \frac{V}{m}$ in den Preßcylinder getrieben und dieses hebt den Preßkolben um $\frac{d^2\pi}{4} \cdot \frac{V}{m} : \frac{D^2\pi}{4} = \frac{V d^2}{m D^2}$. Das langsame Vorschreiten des Preßkolbens ist nun beim wirklichen Gebrauch noch ein Uebelstand, denn im Anfange der Pressung ist der Preßwiderstand gewöhnlich gering und nimmt nur einen kleinen Theil der wirkenden Kraft in Anspruch, man würde mit der vorhandenen Kraft recht wohl eine schnellere Bewegung der Preßplatte hervorbringen können, allein die gegebenen Verhältnisse der Pressen lassen nur ein langsames Vorschreiten zu, so daß dabei Zeit verloren wird. Von den Mitteln, die zur Beseitigung dieses Uebelstandes angewendet werden, wollen wir nur zwei erwähnen. Das eine besteht in der Anwendung zweier concentrischer Druckkolben; der dünnere steckt in dem dickeren und läßt sich mit ihm durch zwei durchgeschobene Riegel verkuppeln. In dieser Verbindung bilden sie nur einen Kolben und werden so anfangs verwendet; der dickere Druckkolben treibt eine größere Wassermenge in den Preßcylinder, und der Preßkolben steigt dann schneller. Wird später der Preßwiderstand größer, so daß der dickere Druckkolben ihn nicht mehr überwinden kann, so hebt man jene Kuppelung auf und benutzt den inneren Kolben als alleinigen Druckkolben, während man den äußeren durch Riegel mit dem Druckcylinder verbindet. Jetzt geht zwar die Bewegung des Preßkolbens langsamer vor sich, aber die Pressung kann auch durch die vorhandene Kraft weiter geführt werden. Das zweite Mittel besteht darin, mehrere Druckpumpen neben einander anzuwenden, die man anfangs gemeinschaftlich wirken läßt; wenn aber der Druck vorschreitet und der Preßwiderstand wächst, wird eine Druckpumpe nach der anderen ausgelöst, bis zuletzt nur noch eine wirkt. Dieses Mittel ist vorzugsweise da anzuwenden, wo nicht Handkraft, sondern Maschinenkraft die Druckpumpen bewegt. Die Auslösung der Druckpumpen kann entweder darin bestehen, daß man den Zusammenhang des Druckkolbens mit dem Bewegungsmechanismus löst, so daß jene Kolben zur Ruhe kommen, oder aber man läßt diesen Zusammenhang, hebt aber durch eine geeignete Vorrichtung das Saugventil der Druckpumpe in die Höhe, so daß der Kolben wohl auf und nieder geht, beim Niedergehen aber das Wasser nicht nach dem Preßcylinder treibt, sondern wieder durch das geöffnete Saugventil in den Wasserkasten stößt. Von der letzten Art ist die Selbstaus-

lösung, die beim Maschinenbetriebe der hydraulischen Presse zur Anwendung kommt. Das Wasser aus dem Fortleitungsrohre kann auf einen kleinen Kolben wirken, der durch einen am anderen Ende belasteten Hebel anfangs in seiner Lage erhalten wird. Uebersteigt aber der Preßwiderstand eine gewisse Größe, so überwindet die Pressung des Wassers gegen den kleinen Kolben jenes Gegengewicht, schiebt den Kolben um eine kleine Strecke fort und bewegt auch jenen Hebel, von diesem Hebel führt nun eine dünne Stange zu dem Saugventil der abzustellenden Druckpumpe, dasselbe wird nun durch jene Hebelbewegung gehoben und dadurch die Wirksamkeit dieser Druckpumpe so lange sistirt, bis wieder bei der nächsten Pressung der Preßwiderstand geringer als jene Grenze geworden ist. Durch Regulirung jener Gewichte, welche den Hebel belasten, kann man genau bestimmen, in welchem Augenblicke die eine oder die andere Druckpumpe außer Thätigkeit gesetzt werden wird.

Eine für viele Zwecke, namentlich zum Auspressen saftiger Früchte, recht brauchbare Abänderung der hydraulischen Presse von Käppelin giebt beistehende Figur an. A ist die gewöhnliche Druckpumpe mit Bramahkolben, derselbe wird



durch einen Hebel in Bewegung gesetzt, B ist das Fortleitungsrohr, dasselbe führt von unten in eine metallene, sphärisch abgerundete Schale; auf dem Rande dieser Schale liegt der eiserne Ring D. Dieser Ring klemmt den Rand einer biegsamen Haut gegen den Rand der Schale, so daß ein nach Außen vollständig wasserdichter Abschluß gebildet wird. Die Haut wird gebildet durch 6 bis 8 mit Kautschukfirniß zusammengeklebte Kattunblätter. Auf den Ring D läßt sich eine metallene durchlöcherte Kappe E leicht so aufsetzen, daß sie gegen einen von unten kommenden Druck durch vorstehende Krampen festgehalten wird. Diese Schalen ruhen auf einem geeigneten Gestell F. Will man nun mit dieser Presse gewisse Früchte auspressen, so drückt man die biegsame Haut in die Vertiefung der Schale C und legt die Früchte darauf, so viel, daß die Kappe E eben darauf gelegt und unter die Krampen geschoben werden kann. Dann setzt man die Druckpumpe in Thätigkeit, das Wasser tritt in C unter die biegsame Haut, treibt sie an allen Stellen auf

und preßt dadurch die Früchte gegen die Kappe E, der Saft entweicht durch die Oeffnungen dieser Kappe, fließt in eine Rinne des Gestells F und von hier in ein untergesetztes Gefäß.

Die hydrostatische oder Real'sche Presse ist eigentlich keine Presse in dem Sinne, in welchem wir oben das Wort genommen haben. Durch sie soll kein Druck zu irgend einer Verwendung hervorgebracht werden, sondern es wird der Druck einer stehenden Flüssigkeitssäule angewendet, um eine gegebene Substanz mittelst dieser Flüssigkeit auszuziehen. Sie besteht der Hauptsache nach aus einem hohlen Cylinder, in welchem die auszuziehende Substanz im gepulverten Zustande zwischen zwei siebförmig durchlöcherten Platten fest gepackt enthalten ist, so daß sie nach keiner Seite hin weichen kann. Wenn der Cylinder an beiden Seiten offen ist, so wird an dem einen Ende ein Deckel luftdicht aufgepaßt, welcher in der Mitte ein Loch hat, worein eine hohe Röhre ebenfalls luftdicht gesteckt wird. Zwischen dem Deckel und der oberen siebförmigen Platte muß etwas Raum bleiben. Beim Extrahiren wird der Cylinder aufrecht gestellt, so daß ein Gefäß zum Aufsammeln der Flüssigkeit untergestellt werden kann. Man gießt durch die Röhre, welche nach Belieben enge sein kann, Flüssigkeit auf die Substanz und hält die Röhre beständig damit gefüllt. Die Flüssigkeit durchdringt die Substanz und kommt mit den ausziehbaren Theilen beladen unten hervor. Nach dem bekannten hydrostatischen Gesetze drückt die Flüssigkeitssäule der Röhre auf die Substanzen im Cylinder mit dem Gewicht, welches sie besitzen würde, wenn die Röhre die Weite des Cylinders hätte; durch Verlängerung jener Röhre kann man nun diesen Druck beliebig vergrößern und so die Extraction der eingebrachten Substanz erleichtern. Gewöhnlich hat die Röhre eine Länge von 8 bis 12 Fuß.

Die Romershausen'sche oder Luftpresse ist ebenfalls keine eigentliche Presse, sondern auch eine Extractionspresse wie die Real'sche Presse, nur ist bei ihr an die Stelle der hohen Flüssigkeitssäule der einseitige Druck der Atmosphäre gesetzt. Romershausen läßt den Cylinder oben offen und schließt ihn unten und bringt den unteren Raum mit einer Evacuationspumpe in Verbindung. Die einfachsten Apparate dieser Art bestehen aus zwei Cylindern von Zinn oder Weißblech, welche neben einander auf einem starken Brett aufrecht stehen. Der eine Cylinder dient zum Beschicken und Auffsammeln des Extracts; die obere Hälfte wird auf ähnliche Art wie bei der Real'schen Presse mit der auszuziehenden Substanz zwischen zwei festgestellten siebförmigen Platten gefüllt und die extrahirende Flüssigkeit darüber gegossen; der zweite Cylinder steht mit einer Luftpumpe in Verbindung, und es kann die Luft in ihm verdünnt werden. Beide Cylinder stehen durch eine Röhre mit einander in Verbindung, welche Verbindung durch einen Hahn hergestellt und aufgehoben werden kann. Zunächst hält man diese Verbindung unterbrochen, verdünnt dann die Luft im zweiten Cylinder und stellt dann durch Drehung des Hahnes die Verbindung mit dem unteren Raume des ersten Cylinders her; alsdann wird durch den Druck der Luft die extrahirende Flüssigkeit durch die pulverförmige auszuziehende Masse getrieben werden und die Extraction bewirken. Die im unteren Theil des ersten Cylinders aufgesammelte Flüssigkeit kann dann mit Hülfe eines Hahnes, nachdem erst die Verbindung dieses Raumes mit der atmosphärischen Luft hergestellt ist, abgelassen werden. W. S.

Prisma, s. Brechbarkeit, Brechung, Farbe, Licht.

Prismenphotometer, s. Photometrie.

Projection. Man projicirt einen Punkt auf eine gerade Linie, wenn man sich durch jenen und diese eine Ebene denkt, und in letzterer vom Punkte eine Senkrechte auf die Gerade zieht. Der Endpunkt dieser Senkrechten ist die Projection des Punktes auf die Gerade. Dagegen wird der Punkt auf eine Ebene projicirt, wenn man von ihm auf diese eine Senkrechte fällt; der in der Ebene gelegene Endpunkt der letzteren ist dann die Projection des Punktes auf die Ebene.

Die Projection einer geraden Linie auf eine andere gerade Linie ist der Theil der letzteren, welcher zwischen den Endpunkten der senkrechten Linien enthalten ist, die man von den Endpunkten der zu projicirenden geraden Linie herabgefällt hat. Liegt nun diese Linie und die andere, auf welche sie projicirt ist, in einer und derselben Ebene, so ist die Projection der Grundlinie eines rechtwinkeligen Dreiecks gleich, dessen Hypotenuse die erst erwähnte Linie ist. Bezeichnet man deshalb die Länge dieser Linie durch L, die ihrer Projection durch l und durch φ den Winkel, den diese beiden Linien mit einander einschließen, so erhält man $l = L \cos \varphi$.

Die Projection irgend einer ebenen Oberfläche auf eine andere Ebene ist derjenige Theil dieser Ebene, welcher durch die Projection des Umrisses der projicirten Oberfläche begrenzt wird, nämlich durch die krumme Linie, welche die Endpunkte der senkrechten Linie bilden, die von allen Punkten dieses Umrisses herabgefällt sind. Bezeichnet man durch F den Inhalt der projicirten Oberfläche, durch f die Fläche ihrer Projection und durch φ den Winkel, den beide ebene Flächen mit einander einschließen, so hat man $f = F . \cos \varphi$. Denkt man sich nämlich die Fläche der projicirten Oberfläche in Elemente von unendlich kleiner Breite zerlegt, die auf dem Durchschnitte derselben mit der Ebene, auf welche man sie projicirt, senkrecht stehen, so ist die Projection eines jeden Elements gleich dem Producte aus diesem Elemente und des Cosinus des Winkels, den die beiden Ebenen einschließen. Dieser Winkel ist aber für alle Elemente derselbe, nämlich $= \varphi$. Daher wird auch die Summe aller ihrer Projectionen, d. h. f der Summe aller Elemente, also der ganzen Fläche F, multiplicirt mit $\cos \varphi$, gleich sein.

Hat man zwei auf einander senkrechte Projections- oder Coordinaten-Ebenen, eine horizontale und verticale, die sich in einer Linie, der sogenannten Projectionsaxe schneiden, so unterscheidet man in Bezug auf diese Ebenen die Horizontal-Projectionen (Grundrisse) irgend welcher Punkte oder Linien von den Vertical-Projectionen (Aufrissen) derselben. Besteht nun die Aufgabe, aus den gegebenen Projectionen der Punkte einer körperlichen Figur, nämlich aus dem gegebenen Grund- und Aufriß, die einzelnen Theile derselben zu zeichnen, so ist dies Gegenstand einer besonderen Disciplin, die man beschreibende (descriptive) Geometrie *) nennt. Kommt es aber darauf an, diese Theile aus den gegebenen Abständen der Punkte von den Projectionsebenen zu berechnen, so ist dies Sache der analytischen Geometrie oder Coordinaten-Theorie.

Die Lehre der Projectionen findet eine wichtige Anwendung in der Perspective, welche angiebt, wie Gegenstände verschiedener Art auf gegebenen Flächen darzustellen sind. Hierbei kommen verschiedene Projectionsmethoden in Betracht.

---

*) Eine weitere Ausbildung erhielt dieser Zweig der Geometrie zuerst durch Monge: géom. descriptive, nouv. édition, avec un supplément par M. Hachette. Paris 1811.

Mit Rücksicht auf den Umstand, daß sich die Lichtstrahlen in geraden Linien fortpflanzen, denke man sich von allen Punkten eines Gegenstandes, der jenseits der Ebene liegt, auf welcher er dargestellt werden soll, gerade Linien nach dem Auge gezogen und merke sich die Punkte, in denen diese Linien die erwähnte Ebene treffen. Alsdann geben diese Punkte die Orte an, wo das Bild jedes einzelnen Punktes des Gegenstandes hin zu zeichnen ist, so daß aus der gehörigen Verbindung der so erhaltenen Punkte der richtige Umriß des Bildes entsteht, das durch Schattirung und Farbengebung dem Gegenstande möglichst ähnlich gemacht werden kann. Auf diese Weise erhält man ein Bild, welches man die perspectivische Projection des Gegenstandes nennt, die eine schickliche Lage des Auges und eine angemessene Entfernung desselben von der Zeichnungsebene voraussetzt *).

Die orthographische Projection (Vogel-Perspective) nimmt dagegen das Auge in Rücksicht auf die Größe des Gegenstandes als unendlich entfernt von diesem an, so daß alle von dem Auge nach den einzelnen Punkten des Gegenstandes gedachten Linien unter sich parallel laufen, und daher auch alle Linien, die im Urbild parallel sind, in der Abbildung ebenfalls parallel werden.

Auch die sogenannte isometrische oder isoperimetrische Perspective (von ἴσος, gleich, und περίμετρος, Umfang), die beim Maschinenzeichnen Anwendung findet, setzt eine unendliche Entfernung des Auges voraus; doch ist die Lage des letzteren durch diejenige Richtung bestimmt, welche mit den drei Hauptaxen des abzubildenden Gegenstandes gleiche Winkel einschließt. Bei Maschinen liegen nun die wichtigsten Theile sehr oft in drei zu einander senkrechten Ebenen, die Farisch, welcher diese Methode angegeben hat, isometrische Ebenen nennt. Denkt man sich das Auge in einer Diagonale des Würfels, dessen Darstellung man den Zeichnungen nach dieser Methode zu Grunde legen kann, so sieht dasselbe alle drei ihm zugekehrten Seiten ganz gleich, so wie denn auch alle Seitenlinien sich in der Zeichnung gleich darstellen werden. Sind auf den drei Seitenflächen des Würfels Kreise gezeichnet, deren Mittelpunkte in der Mitte jeder Seite liegen, so stellen sich diese gleichfalls unter Voraussetzung gleicher Halbmesser in gleichen elliptischen Projectionen dar, und alle Räder einer Maschine, die einer der drei Ebenen parallel sind, werden durch ähnliche Ellipsen dargestellt, die durch die Lage ihrer Axen leicht zu erkennen sind, da sie sich als Kreise zeigen, welche einer der drei Hauptebenen angehören **).

Die oben erwähnte orthographische Projection hat man auch bei der Entwerfung von Landkarten benutzt. An einen Punkt der Erde sei eine berührende Ebene gelegt. Werden nun auf diese von den betreffenden Punkten der Erdoberfläche Senkrechte gezogen, so entsteht auf der genannten Ebene ein Bild der darzustellenden Erdoberfläche. Ist der Berührungspunkt ein Pol, so nennt man diese Projection auch die orthographische Polarprojection. Alle Parallelkreise stellen sich hier auf der Projectionsebene wieder als Kreise dar (s. umstehende Fig. 1.), die Meridiane aber als gerade Linien. Bei der stereographischen Projection befindet sich dagegen das Auge in einem Punkte der Erdoberfläche, welcher

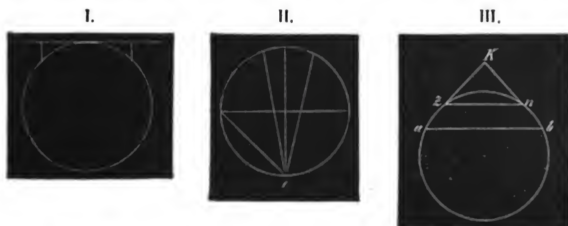
---

*) Eytelwein's Handbuch der Perspective. Berlin 1810.

**) Vergl. O. Gregory, Mathematik für Praktiker, übers. von Drobisch. Leipzig 1828. S. 173.

dem zu entwerfenden Theile gerade gegenüber liegt (s. beistehende Fig. II.); und von ihm aus denkt man sich durch die betreffenden Punkte der Erdoberfläche Linien bis zur Projectionsebene gezogen. Alle Kreise auf der Kugelfläche sind hier auf der Projectionsebene wiederum Kreise, die sich unter denselben Winkeln wie die ersteren schneiden.

Zur Darstellung kleinerer Theile der Erdoberfläche dient die Kegelprojection. Der Kegel K (s. beistehende Fig. III.) berühre die Erdoberfläche in der Zone zn. Denkt man sich nun diesen Kegel auf einer Ebene abgewickelt,



so erscheinen die Parallelkreise ab und zn als Kreisbogen von den Halbmessern aK und zK, und die Meridiane als gerade Linien, die in K zusammentreffen.

Bei der Darstellung kleinerer Theile der Erdoberfläche, die man als Ebenen betrachten kann, lassen sich die Parallelkreise und Meridiane als gerade Linien ziehen, welche sich unter rechten Winkeln schneiden und somit Rechtecke darstellen; oder man sucht wenigstens Trapeze zu gewinnen, indem man die Grade der äußersten Parallelkreise in einem schicklichen Verhältnisse gegen die Grade der Meridiane vermindert und die Theilungspunkte durch gerade Linien verbindet.

Die Seekarten entwirft man häufig nach einer Projection, die man Mercator's Projection nennt, bei welcher die Parallelkreise und Meridiane Rechtecke bilden, in der Art, daß die Grade der Parallelkreise einander gleich bleiben, während die Grade der Meridiane in dem Maße wachsen, als die der Parallelkreise auf der Kugeloberfläche abnehmen. In den nach dieser Projection erhaltenen Karten, die auch reducirte Karten heißen, machen die Richtungen der Winde mit allen Meridianen auf der Karte gleiche Winkel; diese Richtungen bilden hier gerade Linien, auf der Kugelfläche dagegen krumme Linien, die unter dem Namen der Loxodromien bekannt sind *).

Mit diesen Bemerkungen über Projection und Perspective müssen wir uns hier begnügen und bezüglich des Specielleren auf solche Werke verweisen, welche die ausführlichere Darstellung dieser Gegenstände zu ihrem besonderen Zwecke haben.

Psychrometer, s. Hygrometer.

Pulshammer, s. Wasserhammer.

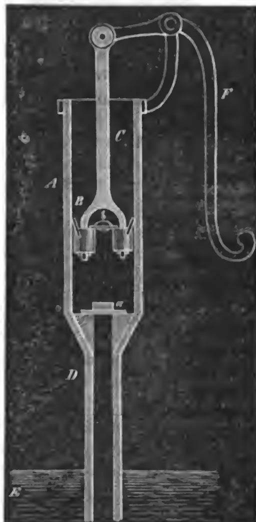
---

*) Vergl. Littrow's theoretische und praktische Astronomie. Wien 1821. S. 336.

Pumpe. Die Pumpe ist eine Maschine, durch welche eine Flüssigkeit von einem Orte nach einem anderen bewegt wird; doch heißt nicht jede Maschine, die diesen Zweck erfüllt, eine Pumpe, da der Umfang dieses Begriffs nach dem technischen Sprachgebrauch ein unbestimmter ist. Hier wollen wir nur diejenigen Apparate besprechen, die zur Fortbewegung des Wassers (oder überhaupt tropfbarer Flüssigkeiten) dienen, und zwar insofern diese Bewegung stattfindet entweder in Folge von Zug oder Druck eines Kolbens, oder in Folge von Zug oder Druck der Centrifugalität rotirender Flüssigkeiten. Deshalb unterscheiden wir hier a) Kolbenpumpen, b) Centrifugalpumpen.

Kolbenpumpen.

Allen Kolbenpumpen gemeinschaftlich ist der Kolben, ein gewöhnlich kurzer cylindrischer Körper, der an einer längeren Stange, der Kolbenstange, sitzt und mittelst derselben im Innern einer Röhre, Kolbenröhre oder Pumpenstiefel genannt, an deren Wandung er sich so eng als nöthig anschließt, hin- und herbewegt werden kann. Die Kolbenröhre steht mit dem zu bewegenden Wasser in Verbindung, so daß durch die eine Bewegung des Kolbens das Wasser in die Kolbenröhre gezogen und durch die andere aus dem Stiefel fortgedrückt werden kann. Je nachdem die eine oder die andere Thätigkeit des Kolbens die vorwiegende ist, nennt man die Pumpe eine Saugpumpe oder eine Druckpumpe. Damit aber das Wasser stets die beabsichtigte Bewegung annimmt, befinden sich in den Pumpen noch die Ventile, d. i. Vorrichtungen, durch welche dem Wasser die Bewegung nur in der einen Richtung gestattet, in der entgegengesetzten aber verhindert ist. Die besondere Anordnung dieser Theile ist nun bei der Saug- und der Druckpumpe im Wesentlichen folgende.

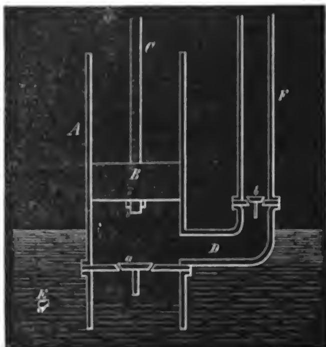


Nebenstehende Figur stellt den senkrechten Durchschnitt einer Saugpumpe dar. A ist die Kolbenröhre, B der Kolben, C die Kolbenstange. Die Kolbenröhre ist nach unten mit einer gewöhnlich engeren Röhre D, der Saugröhre, verbunden, welche bis in den Wasserraum E, den sogenannten Sumpf, hinabreicht; die Kolbenstange C ist an ihrem oberen Ende gewöhnlich mit einem Hebel F verbunden, durch welchen sie ihre Bewegung erhält. Das obere Ende der Saugröhre D ist durch ein Ventil a geschlossen; es ist in der Figur durch eine Klappe dargestellt, welche sich aufwärts bewegen kann, dem Wasser zwar die Bewegung aus der Saugröhre in die Kolbenröhre gestattet, den Rückweg ihm aber

verschließt. Dieses Ventil heißt Bodenventil; ein zweites Ventil b, das Kolbenventil, befindet sich im Kolben, der deshalb von unten nach oben durchbohrt ist. Das Ventil schließt diese Durchbohrung wieder, öffnet sich ebenfalls nach oben, und gestattet dem Wasser zwar über den Kolben zu treten, aber nicht wieder zurückzufließen. Das Spiel dieser Pumpe ist einfach zu übersehen. Der ganze Pumpenraum sei anfangs mit Luft angefüllt, und der Kolben bewege sich zuerst aufwärts. Hierdurch wird die unter dem Kolben im Stiefel befindliche Luft ausgedehnt, und zwar um so mehr, je höher sich der Kolben hebt. Die Spannung der Luft der Saugröhre bleibt anfänglich unverändert, da das Ventil a diese Röhre schließt, sobald aber die Luftverdünnung im Stiefel weit genug vorgeschritten ist, hebt die stärker gespannte Luft der Saugröhre das Bodenventil und fließt theilweise in den Stiefel über; dadurch wird die Luft in der Saugröhre auch verdünnt, vermag nun dem Druck der äußeren Atmosphäre nicht mehr das Gleichgewicht zu halten, so daß jetzt das Wasser in der Saugröhre aufsteigt. Geht der Kolben nun wieder abwärts, so schließt sich zunächst das Bodenventil, das Wasser in der Saugröhre bleibt in der erlangten Höhe stehen, dagegen wird die Luft unter dem Kolben wieder verdichtet; hat sie endlich eine Dichte erlangt, größer als die der äußeren Luft, so hebt sie das Kolbenventil b und entweicht nach außen. Beim zweiten Kolbenhub verdünnt sich die wenige zwischen dem Kolben und dem Bodenventil übrig gebliebene Luft wieder und der Vorgang des ersten Kolbenhubes wiederholt sich, indem jetzt das Wasser in der Saugröhre weiter steigt. Ist die Saugröhre nicht zu lang, sind die Ventile nicht zu schwer, schließt der Kolben dicht genug an die innere Stiefelwand und ist der Raum, der immer noch zwischen dem Kolben in seinem tiefsten Stande und dem Boden der Kolbenröhre bleibt, der sogenannte schädliche Raum, nicht zu groß, so wird das Wasser endlich durch das Bodenventil in den Stiefel gelangen. Steht es hier, so tritt es bei der niedergehenden Bewegung des Kolbens durch das Kolbenventil über den Kolben und wird dann durch den aufsteigenden Kolben so weit gehoben, daß es irgend eine im Kolbenrohre befindliche Ausgußöffnung erreichen kann.

Die Saugröhre darf in keinem Falle länger sein, als die Höhe der Wassersäule beträgt, die dem einfachen Atmosphärendruck das Gleichgewicht hält, bei uns also nicht über 33 Fuß, nur bis zu dieser Höhe kann der Atmosphärendruck das Wasser aufwärts treiben, und weiter würde das Wasser nicht steigen, könnte auch der Kolben über dem Wasser eine absolute Luftleere erzeugen. Da aber theils in Folge des schädlichen Raumes und der Schwere der Ventile, theils in Folge des nicht dichten Anschlusses des Kolbens an die Stiefelwand und der selbst im Wasser befindlichen Luft eine solche absolute Luftleere nicht herstellbar ist, so wird das Wasser nicht einmal 33 Fuß hoch steigen können, und man muß sich mit Saugröhren, die höchstens eine Länge von 24 bis 28 Fuß haben, begnügen. Will man aber das Wasser mit einer Saugpumpe höher als 28 Fuß heben, so muß man die Kolbenröhre länger machen, damit über dem Kolben noch eine längere Wassersäule stehen und von ihm gehoben werden kann. Eine solche Pumpe heißt dann Saug- und Hebepumpe. Denkt man sich die Saugröhre ganz fort, setzt die Kolbenröhre unmittelbar in den Sumpf, so daß das Wasser in Folge seiner eigenen Schwere in den Stiefel eintritt, und so nur das über dem Kolben befindliche Wasser bei der aufsteigenden Bewegung desselben gehoben wird, so würde man eine einfache Hebepumpe haben.

Beistehende Figur stellt die wesentlichen Theile einer Druckpumpe dar. A ist entweder der Stiefel oder die Kolbenröhre, B ist der Kolben, C die Kolbenstange. Der Stiefel ist unmittelbar in den Sumpf E gesetzt, das Wasser dringt also bei der aufsteigenden Bewegung des Kolbens unmittelbar durch das Bodenventil a (Saugventil, Stiefelventil) in den Stiefel. In der Zeichnung ist das Ventil a als Kegelventil gezeichnet. Der Kolben hat aber jetzt keine Durchbohrung, er ist massiv, deshalb treibt er bei seiner niedersteigenden Bewegung das Wasser durch das Gurgel- oder Knierohr D in die Steigröhre F; das Gurgelventil b (ebenfalls als Kegelventil gezeichnet) verhindert das Zurücktreten des Wassers aus dem Steigrohre F in den Stiefel. Da der Atmosphärendruck bei der Bewegung des Wassers in der einfachen Druckpumpe entweder gar nicht oder nur in untergeordneter Weise wirksam ist, so ist auch die Höhe, bis zu welcher das Wasser durch sie gehoben werden kann, davon unabhängig. Versieht man den Stiefel einer Druckpumpe mit einer Saugröhre, so hat man eine Saug- und Druckpumpe.



Theorie der Kolbenpumpe.

Länge der Saugröhre. Der schädliche Raum einer Saugpumpe, d. i. der Raum des Stiefels zwischen dem Kolbenventil und dem Bodenventil, wenn der Kolben seinen tiefsten Stand hat, läßt sich nicht ganz vermeiden; seine Größe sei gleich einem Cylinderraume, der den Querschnitt F des Stiefels zur Grundfläche und die Höhe a habe. Das Gewicht des Bodenventils sei gleich dem Gewicht eines Wassercylinders, der die Ventilöffnung zur Basis und die Höhe b habe, eben so sei das Gewicht des Kolbenventils durch b′ bezeichnet; H aber sei die Länge der Wassersäule, die dem Atmosphärendrucke das Gleichgewicht hält, und s sei die Höhe des Kolbenhubs. So lange noch kein Wasser in den Stiefel getreten ist, hat die Luft unter dem Kolben in dem Augenblicke, in welchem dieser seinen tiefsten Stand erreicht hat, eine Dichte, die etwas größer ist als die der atmosphärischen Luft, weil sie ja außer dem Gegendruck der letzteren auch noch das Ventilgewicht zu tragen hat. Ihre Dichte ist $\frac{H + b'}{H}$, wenn die Dichte der Atmosphäre $= 1$ gesetzt wird; das Volumen dieser Luftmenge ist $F a$, und da es sich bei der Bewegung des Kolbens durch den Weg s auf das Volumen $F (a + s)$ ausdehnt, so hat diese Luftmenge, wenn inzwischen das Bodenventil sich nicht geöffnet hat, eine Dichte $\frac{H + b'}{H} \cdot \frac{a}{a + s}$; sie übt also gegen das Boden-

ventil einen Druck aus gleich dem Gewicht einer Wassersäule von der Höhe $\frac{a(H+b')}{a+s}$. Deshalb kann die Luft unter dem Bodenventil immer noch eine Dichte haben, die einer Wassersäule von der Höhe $\frac{a(H+b')}{a+s}+b$ das Gleichgewicht hält, ohne daß sich das Bodenventil heben wird; in solchem Falle wird aber das weitere Spiel des Kolbens keine fernere Hebung des Wassers im Saugrohre bewirken, und das Wasser wird also hier nur bis zur Höhe $H-\frac{a(H+b')}{a+s}-b=\frac{Hs-a(b+b')-bs}{a+s}$ gestiegen sein. Ist nun die Saugröhre länger, als dieser Werth angiebt, so muß die Pumpe unwirksam sein. In Folge einer gewissen Undichtheit des Kolbens und in Folge der im Wasser befindlichen Luft wird selbst diese Größe in der Wirklichkeit nicht genau erreicht werden. Kann man eine längere Saugröhre nicht vermeiden, d. h. eine solche von etwa 24 — 28 Fuß, so muß man dafür sorgen, um noch ein kräftiges Ansaugen möglich zu machen, daß a, b und b' so gering als möglich, s hingegen nicht zu klein ausfalle. Damit b und b' nur gering bleibe, so nimmt man lieber die Ventile aus Holz und Leder als aus Metall, wenn nicht andere Umstände die metallenen Ventile nöthig machen.

Nutzeffect. Der Effect der Pumpen besteht in der Hebung des Wassers, und der deswegen, d. h. ohne Rücksicht auf die Hindernisse zu überwindende Widerstand läßt sich nach den bekannten hydrostatischen Gesetzen sehr leicht bestimmen. Der Kolben einer Saugpumpe hat bei der aufsteigenden Bewegung das Gewicht einer Wassersäule zu überwinden, die den Querschnitt des Kolbens F zur Grundfläche und den Abstand der Ausgußöffnung vom Unterwasserspiegel zur Höhe hat. Bezeichnen wir diesen Abstand mit h, und ist γ das Gewicht der Volumeneinheit Wasser, so ist der vom aufsteigenden Saugkolben zu überwindende Hauptwiderstand $Fh\gamma$. Eben so wirkt gegen die untere Fläche des herabgehenden Kolbens einer Druckpumpe ein Druck, der gleich dem Gewichte einer Wassersäule ist, welche den Querschnitt des Kolbens zur Grundfläche und die Höhe der Ausgußöffnung der Steigröhre über dem Kolben zur Höhe hat; bezeichnen wir diesen Abstand in seinem mittleren Werthe auch mit h, so giebt der Ausdruck $Fh\gamma$ auch die Größe des Hauptwiderstandes an, welchen der Kolben einer Druckpumpe beim Niedergange zu überwinden hat.

Nebenhindernisse. Zu diesen Hauptwiderständen kommen noch die Nebenwiderstände oder die eigentlichen Hindernisse der Bewegung, dahin gehört die Kolbenreibung, die Adhäsion des Wassers an den Wänden der Saugröhre und des Stiefels, die Trägheit des Wassers, insofern das Wasser bei jedem Kolbenspiel von neuem aus der Ruhe in Bewegung gesetzt werden muß, und der Widerstand, der aus der Contraction des Wassers beim Durchgange durch die Ventile erwächst. Die Kolbenreibung ist abhängig von dem Grad der Glätte der reibenden Flächen, von der Länge der Peripherie des Kolbenquerschnitts, die ihrerseits dem Kolbendurchmesser proportional ist, und von dem Druck, der auf dem Kolben lastet. Denn die beste Dichtung ist die, bei welcher durch den Druck des Wassers selbst die Liederung gegen die Stiefelwand gedrückt wird, wie es

z. B. bei der Kappen- oder Stulpliederung der Fall ist, die in Figur S. 490 angedeutet ist; je höher der Wasserdruck ist, desto stärker werden die Ränder der Lederkappe gegen die Stiefelwände gedrückt, und desto stärker wird auch die Kolbenreibung sein. Diese selbst ist also proportional zu setzen mit dem Product hD, wenn D den Kolbendurchmesser bezeichnet. Es ist nun vortheilhaft, alle Widerstände auf das Gewicht von Wassersäulen zu reduciren, welche den Kolbenquerschnitt zur Basis haben; die Höhe einer solchen Wassersäule, welche der Kolbenreibung entspräche, wäre dann proportional mit $hD : \frac{1}{4} D^2 \pi$, d. i. proportional mit $\frac{h}{D}$; setzen wir diese Höhe selbst $= k \cdot \frac{h}{D}$, so würde der Factor k abhängig sein von der Beschaffenheit der reibenden Flächen. Nach Eytelwein ist für polirte metallene Stiefel $k = 0{,}03'$, für gebohrte metallene Stiefel ist $k = 0{,}06'$ und für gut gebohrte hölzerne ist $k = 0{,}1'$; bei mangelhafter Ausführung ist jedoch k noch größer.

Der Widerstand, den die Adhäsion des in Röhren fließenden Wassers der bewegenden Kraft entgegensetzt, wird ebenfalls durch die Höhe einer Wassersäule gemessen, deren Druck diesem Widerstande gleich ist. Die Hydraulik lehrt, daß diese Widerstandshöhe gleich ist

$$0{,}03 \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{l}{d},$$

wenn v die Geschwindigkeit des Wassers, l die Länge und d der Durchmesser der Röhre ist (g ist die Beschleunigung der Schwerkraft). Bezeichnet nun L die Länge der Wassersäule in der Kolbenröhre und c die Kolbengeschwindigkeit, so liefert die Adhäsion des Wassers gegen die Stiefelwände die Widerstandshöhe:

$$0{,}03 \frac{c^2}{2g} \cdot \frac{L}{D}.$$

Ist d der Durchmesser der Saugröhre (oder der Steigröhre bei einer Druckpumpe), l die Länge der Wassersäule in ihr, so ist zunächst die Geschwindigkeit des Wassers in dieser Röhre $\frac{D^2}{d^2} c$, folglich liefert die Adhäsion in dieser Röhre die Widerstandshöhe: $$0{,}03 \frac{c^2}{2g} \cdot \frac{l D^4}{d^5}.$$

Wird ein Körper vom Gewicht P aus der Ruhe in die Geschwindigkeit v versetzt, so gehört dazu die Arbeit $\frac{P v^2}{2g}$; wenden wir dies an auf die im Stiefel befindliche Wassermenge $FL\gamma$, die bei jedem Kolbenhube aus der Ruhe in die Geschwindigkeit c versetzt wird, so giebt das die Arbeit $FL\gamma \frac{c^2}{2g}$, und eben so erhalten wir für die in der Saugröhre zum Querschnitt f enthaltene Wassermenge $fl\gamma \cdot \frac{c^2}{2g} \cdot \frac{D^4}{d^4}$; da nun $\frac{F}{f} = \frac{D^2}{d^2}$, so geht der letzte Ausdruck über in $\frac{F^2 l \gamma}{f} \cdot \frac{c^2}{2g}$, deshalb verlangt bei einer Saugpumpe die Ueberwindung der Träg-

heit die Arbeit $\frac{F\gamma}{f} \cdot \frac{c^2}{2g}(fL + Fl)$. Diese Arbeit wird eigentlich im Anfange des Kolbenhubs ausgeübt, denken wir sie aber vertheilt über den ganzen Kolbenhub zur Höhe s, so giebt sie für den Kolben eine Widerstandshöhe $\frac{F\gamma}{f} \cdot \frac{c^2}{2g}(fL + Fl) : F\gamma s = \frac{fL + Fl}{fs} \cdot \frac{c^2}{2g}$.

Um nun den Widerstand zu berechnen, den das Wasser beim Durchgange durch ein Ventil erfährt, so erinnern wir daran, daß, um einen Körper vom Gewicht P aus der Geschwindigkeit v zur Geschwindigkeit v' zu bringen, die Arbeit $P\frac{v'^2 - v^2}{2g}$ nöthig ist. Die Geschwindigkeit des Wassers in der Saugröhre ist $c\frac{F}{f}$, ist nun f' die Oeffnung des Bodenventils und n der Contractionscoefficient für den Durchgang des Wassers durch dieses Ventil, so bildet das Wasser in diesem Ventil einen Strahl zum Querschnitt nf', muß also eine Geschwindigkeit $c\frac{F}{nf'}$ annehmen; das Gewicht der bei einem Kolbenhube durch das Ventil gehenden Wassermenge ist $Fs\gamma$, folglich ist die hier nöthige Arbeit $Fs\gamma\frac{c^2}{2g}\left(\frac{F^2}{n^2f'^2} - \frac{F^2}{f^2}\right)$, und da sich diese Arbeit auf den ganzen Kolbenhub vertheilt, so erhält man die entsprechende Widerstandshöhe $\frac{c^2}{2g} \cdot F^2\left(\frac{1}{n^2f'^2} - \frac{1}{f^2}\right)$; gewöhnlich ist $f' = f$, und man hat alsdann $\frac{c^2}{2g} \cdot \frac{F^2}{f^2}\left(\frac{1}{n^2} - 1\right)$. In ganz gleicher Weise erhält man für den Widerstand wegen des Eintritts des Wassers aus dem Sumpf in die Saugröhre $\frac{c^2}{2g} \cdot \frac{F^2}{n'^2f^2}$, wenn n' der Contractionscoefficient für diese Eintrittsstelle ist. Ist f'' die Oeffnung des Kolbenventils und n'' der Contractionscoefficient, so hat beim Niedergang des Kolbens einer Saugpumpe das Wasser im Ventil eine relative Geschwindigkeit $c\frac{F}{n''f''}$, da aber der Kolben sich mit der Geschwindigkeit c bewegt, so ist die absolute Geschwindigkeit des Wassers im Kolben $c\left(\frac{F}{n''f''} - 1\right)$; also ist die diesem Durchgange entsprechende Widerstandshöhe $\frac{c^2}{2g}\left(\frac{F}{n''f''} - 1\right)^2$. Bezeichnen wir nun noch mit G das Gewicht des Kolbens und der Kolbenstange, so erhalten wir für die bewegende Kraft folgende Werthe:

1) Aufgang des Kolbens einer Saugpumpe:

$$F\gamma\left[h + k\frac{h}{D} + 0{,}03\,\frac{c^2}{2g}\left(\frac{L}{D} + \frac{lD^4}{d^5}\right) + \frac{c^2}{2g}\left(\frac{fL + Fl}{fs}\right) + \frac{c^2}{2g}F^2\left(\frac{1}{n^2f'^2} + \frac{1}{n'^2f^2} - \frac{1}{f^2}\right)\right] + G.$$

2) Niedergang des Kolbens einer Druckpumpe:

$$F\gamma\left[h + k\frac{h}{D} + 0{,}03\,\frac{c^2}{2g}\left(\frac{s}{2D} + \frac{l D^4}{d^5}\right) + \frac{c^2}{2g}\left(1 + \frac{F l}{f^4}\right)\right.$$
$$\left. + \frac{c^2}{2g}\left(\frac{F^2}{n^2 f'^2} - 1\right)\right] - G.$$

Hier bezeichnet h die Höhe der Ausgußöffnung über dem mittleren Stande des Kolbens und l ist die Länge der ganzen Steigröhre, f' ist die Oeffnung des Drosselventils und n der Coefficient für die beim Durchgange des Wassers durch dieses Ventil stattfindende Contraction. Beide Formeln zeigen, daß die von der Adhäsion, Trägheit und Contraction des Wassers herrührenden Hindernisse mit dem Quadrat der Kolbengeschwindigkeit wachsen, und daß es also immer vortheilhaft sein wird, dem Kolben eine geringe Geschwindigkeit, aber dafür einen größeren Querschnitt zu geben. Der niedergehende Saugkolben hat keinen Nutzeffect zu bewirken, die Kolbenreibung ist viel geringer als bei der aufsteigenden Bewegung, da keine Wassersäule gegen die Liederung drückt, hierzu kommt noch der Widerstand wegen der Contraction des Wassers beim Durchgange durch das Kolbenventil, hingegen wirkt das Gewicht des Kolbens und der Kolbenstange fördernd auf die Bewegung. In ähnlicher Weise hat der aufsteigende Kolben einer Druckpumpe nur eine geringe Kolbenreibung und eben so nur die Trägheit und Adhäsion einer geringen Wassermasse zu überwinden.

Aufgabe. Eine Saugpumpe soll das Wasser auf 30′ heben, zu dem Ende wendet man ein 20′ langes und 3″ weites Saugrohr und ein 10′ langes und 6″ weites Kolbenrohr an. Das Kolbenrohr sei aus Holz gebohrt, das Saugventil habe eine Oeffnung, welche gleich dem Querschnitt des Saugrohrs ist und für die Contraction an dieser Stelle gelte der Coefficient 0,6, dagegen für den Eintritt des Wassers der Coefficient 0,8. Kolben und Kolbenstange habe ein Gewicht von 30 Pfund. Welche Kraft muß beim Aufzug des Wassers angewendet werden, wenn der Kolben eine Geschwindigkeit von 1′ oder 2′ erhält und der Kolbenhub 2′ beträgt?

Auflösung. Es ist gegeben $h = 30'$, $L = 10'$, $l = 20'$, $D = 0{,}5'$, $d = 0{,}25'$ $f = f'$, $n = 0{,}6$, $n' = 0{,}6$, $s = 2$. Nun sei c zunächst $= 1'$. Außerdem ist $g = 31{,}25$, $\gamma = 66$ (altpreußische) Pfund. Weiter folgt $F = \frac{1}{4} D^2\pi = 0{,}2$ und $f = 0{,}05$. Da der Stiefel aus Holz gebohrt ist, so ist für k der Werth 0,1 zu setzen. Die einzelnen Posten des Gesammtwiderstandes ergeben sich nun, wie folgt. Der Widerstand wegen Hebung der Wassersäule beträgt $F h \gamma = 396$ Pfund, die Kolbenreibung $F\gamma \,.\, k\frac{h}{D} = 79{,}2$ Pfund, die Adhäsion des Wassers an den Wänden der Saugröhre und des Stiefels $0{,}03\,\frac{c^2}{2g}\,.\left(\frac{L}{D} + \frac{l D^4}{d^5}\right) = 0{,}64$ Pfund, die Trägheit des Wassers giebt im Durchschnitt den Widerstand $\frac{c^2}{2g}\left(\frac{fL + Fl}{fs}\right) = 0{,}72$ Pfund, in Folge der Con-

traction des Wassers, ist der Widerstand $\frac{c^2}{2g} F^2 \left(\frac{1}{n^2 f^2} + \frac{1}{n'^2 f^2} - \frac{1}{f^2}\right)$ = 0,85 Pfund. Bringen wir die 30 Pfd. Gewichtswiderstand von Seiten des Kolbens und der Kolbenstange nicht in Anschlag, da sie beim Niedergang des Kolbens wieder wirksam werden, so beträgt der Gesammtwiderstand 477,41 Pfd., von welchem die 396 Pfd. Nutzlast etwa 82,9 Procent bilden. So hoch würde auch der Nutzeffect der Pumpe anzuschlagen sein, wenn bei jedem Hube wirklich das Wasservolumen Fs zum Ausfluß käme, in der Regel kommt aber nur $^4/_5$ dieser theoretischen Wassermenge, weshalb auch jener Nutzeffect um $^1/_5$ geringer genommen werden muß, also zu 66,3 Procent. — Nehmen wir an, der Kolben habe 2′ Geschwindigkeit, so bleiben die ersten beiden der oben berechneten Werthe dieselben, wir erhalten aber für die Adhäsion des Wassers den Widerstand 2,56 Pfd., für die Trägheit 2,88 Pfund und für den Widerstand in Folge der Contraction 3,4 Pfund, und diese Werthe führen dann schließlich auf einen Nutzeffect von 65,4 Procent.

Größte Kolbengeschwindigkeit einer Saugpumpe. Könnten wir annehmen, der Kolben begänne seine aufsteigende Bewegung mit einer merklichen Geschwindigkeit, so würde folgen, daß er sich jedesmal vom Wasser losreißen müßte. Denn wollte das Wasser ihm mit gleicher Geschwindigkeit folgen, so müßte der Kolben in einem Augenblick die Trägheit der unter ihm hängenden und der auf ihm ruhenden Wassersäule überwinden können, was unmöglich ist. Zur Ueberwindung der Trägheit einer schweren Masse gehört Arbeit, zur Ausübung jeder mechanischen Arbeit aber Zeit. Uebrigens kann kein schwerer Körper und also auch der Pumpenkolben nicht plötzlich aus der Ruhe in Bewegung übergehen, jede anfängliche Bewegung ist eine beschleunigte Bewegung, also auch die des Kolbens. Ist aber die Kraft, welche den Kolben aufwärts zieht, größer als nöthig ist, so ist es recht wohl möglich, daß dem Kolben eine größere Beschleunigung ertheilt wird, als die nachfolgende Wassermasse in Folge des Atmosphärenüberdrucks annehmen kann, dann wird sich der Kolben losreißen und das Wasser wird nur langsamer folgen können. Deshalb besteht für jede Saugpumpe ein Maximum der Geschwindigkeit, das nicht überschritten werden darf, wenn das Wasser dem Kolben soll nachfolgen können. Dieses Maximum wird zumeist abhängen von der Länge der Saugröhre; je länger dieselbe ist, desto langsamer wird sich der Kolben bewegen müssen, je kürzer sie aber ist, desto schneller kann der Kolben gehen.

In der Berechnung dieses Verhältnisses können wir einen doppelten Weg einschlagen. Wir nehmen zunächst an, die bewegende Kraft P, durch welche der Kolben aufwärts gezogen wird, ist so groß, daß der Kolben sogleich vom Wasser losreißt. Wir berechnen die anfängliche Beschleunigung des Kolbens, dann die der nachfolgenden Wassermasse und setzen jene größer als diese. Reißt der Kolben sogleich vom Wasser los, so hat die Kraft P zu überwinden: 1) das Gewicht des Kolbens und der Kolbenstange G, 2) das Gewicht der über dem Kolben stehenden Wassersäule $FL\gamma$, 3) den ganzen Atmosphärendruck, da unter dem Kolben eine Luftleere entsteht, $FH\gamma$, 4) die Kolbenreibung $F\gamma k \frac{H+L}{D}$, folglich bleibt von der Zugkraft P folgender Rest als bewegende Kraft übrig:

$$P - G - FL\gamma - FH\gamma - F\gamma k \frac{H+L}{D} = P - G - F\gamma(L+H)\left(1 + \frac{k}{D}\right).$$

In Bewegung gesetzt wird der Kolben durch die Kolbenstange und die darüber befindliche Wassermasse, also eine Masse von Gesammtgewicht $G + F\gamma L$, daraus folgt die Beschleunigung des Kolbens

$$\frac{P - G - F\gamma(L+H)\left(1 + \frac{k}{D}\right)}{G + FL\gamma} g.$$

Das nachfolgende Wasser wird durch den Atmosphärenüberdruck bewegt, dieser beträgt $f(H - l)\gamma$, die zu bewegende Masse hat im Anfange das Gewicht $fl\gamma$, folglich besitzt das in der Saugröhre aufsteigende anfangs eine Beschleunigung $\frac{H-l}{l} g$; das Wasser fließt nun durch das Bodenventil in das Kolbenrohr und hat hier nur noch eine Beschleunigung $\frac{f}{F} \cdot \frac{H-l}{l} g$; im Fall nun der Kolben sich vom Wasser losgerissen hat, ist jene Beschleunigung größer als diese, und es folgt

$$\frac{P - G - F\gamma(L+H)\left(1 + \frac{k}{D}\right)}{G + FL\gamma} g > \frac{f}{F} \; \frac{H-l}{l} g, \text{ und hieraus}$$

$$P > G + F\gamma(L+H)\left(1 + \frac{k}{D}\right) + \frac{(G + FL\gamma) f (H-l)}{Fl}.$$

Im weiteren Verlauf der Bewegung wird die Beschleunigung des Kolbens wegen der verminderten Last größer, die Beschleunigung des nachfolgenden Wassers aber wird wegen vermehrter Hindernisse geringer werden, so daß das Wasser den Kolben nicht einholen kann. Setzen wir in die letzte Formel die Werthe aus dem früher berechneten Beispiele, so erhalten wir $P > 735$ Pfund. Bei einer Zugkraft also, die mindestens gleich 735 Pfund wäre, würde der Kolben gleich im Anfange seines Weges vom Wasser sich losreißen. In diesem Falle ist die Beschleunigung des Kolbens mindestens gleich $\frac{f}{F} \; \frac{H-l}{l} g$, nehmen wir nun an, der Kolben bewegte sich mit gleichförmig beschleunigter Bewegung durch den Weg s, so gebrauchte er dazu die Zeit $\sqrt{2s : \frac{f}{F} \cdot \frac{H-l}{l} g} = \sqrt{\frac{2sFl}{f(H-l)g}}$ und die mittlere Kolbengeschwindigkeit wäre $\frac{s}{t} = \sqrt{\frac{f(H-l)gs}{2Fl}}$.

Für das berechnete Beispiel wäre diese Geschwindigkeit: 2,17 Fuß. Diese Geschwindigkeit wird um so geringer ausfallen, je länger die Saugröhre und je kleiner ihr Querschnitt ist. Die letzte Formel ist aber nur als Ueberschlagsformel anzusehen, da die Voraussetzung, auf welche sie sich gründet, nicht in aller Schärfe sicher ist.

Es ist aber auch denkbar, daß der Kolben nicht im Anfange seiner Bewegung, sondern erst im weiteren Verlauf derselben sich vom Wasser losreißt, und das wird dann eintreten, wenn in Folge der gesteigerten Bewegung der Widerstand, den das unter dem Kolben befindliche Wasser dem Kolben entgegen setzt, anfängt größer zu werden, als der einfache Atmosphärendruck ist. Denken wir uns, das fände statt, indem der Kolben in halber Hubhöhe sich mit der Geschwindigkeit c bewegt, so hat der Kolben in diesem Augenblicke folgende Widerstände zu überwinden, die wir sogleich durch die Höhe einer Wassersäule, welche den Kolbenquerschnitt zur Basis hat, messen wollen. Zug der unter dem Kolben hängenden Wassersäule $= l + \frac{1}{2} s$, Adhäsion des Wassers an den Röhrenwänden $0,03 \frac{c^2}{2g}\left(\frac{s}{2D} + \frac{lD^4}{d^5}\right)$, Widerstand des Wassers beim Durchgang durch das Bodenventil und beim Eintritt in die Saugröhre $\frac{c^2}{2g} F^2 \left(\frac{1}{n^2 f'^2} + \frac{1}{n'^2 f^2} - \frac{1}{f^2}\right)$; folglich ist das Maß für den Gesammtwiderstand der unter dem Kolben befindlichen Wassersäule:

$$l + \frac{1}{2} s + 0,03 \frac{c^2}{2g}\left(\frac{s}{2D} + \frac{lD^4}{d^5}\right) + \frac{c^2}{2g} F^2 \left(\frac{1}{n^2 f'^2} + \frac{1}{n'^2 f^2} - \frac{1}{f^2}\right).$$

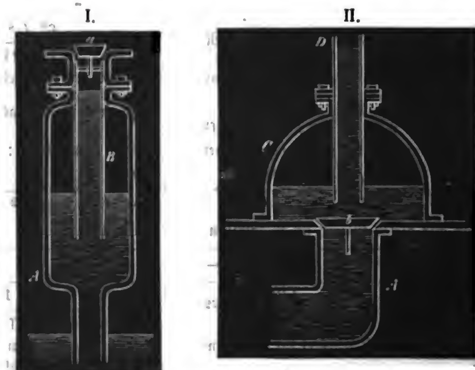
Setzen wir diesen Werth im Maximum gleich H, so folgt:

$$c = \sqrt{\frac{2g\left(H - l - \frac{1}{2} s\right)}{0,03\left(\frac{s}{2D} + \frac{lD^4}{d^5}\right) + F^2\left(\frac{1}{n^2 f'^2} + \frac{1}{n'^2 f^2} - \frac{1}{f^2}\right)}}.$$

Setzen wir in diese Formel die Zahlenwerthe des oben gewählten Beispiels, so folgt $c = 2,8$. Sobald also der Kolben diese Geschwindigkeit überschreitet, wird er sich vom Wasser losreißen.

Windkessel. Ein wesentlicher Uebelstand bei der Bewegung der Pumpen besteht in dem Wechsel von Bewegung und Ruhe der Wassermassen, weil einerseits bei jedem Kolbenhube das Wasser von neuem aus der Ruhe in Bewegung versetzt wird, wodurch jedesmal Arbeit verloren geht, andererseits auch weil das Wasser, wenn es plötzlich aus der Bewegung zur Ruhe übergehen soll, gegen die Ventile andrängt und ein oft bedeutendes Schlagen der Ventile bewirkt. Diese Uebelstände werden um so größer, je größer die bewegten Wassermassen, je schneller die Bewegung des Kolbens und die Aufeinanderfolge der Kolbenspiele ist, so daß sie in solchen Fällen, in denen diese Umstände stattfinden, die Menge des geförderten Wassers bedeutend vermindern können. Doch können diese Uebelstände fast ganz beseitigt werden, wenn man Windkessel als Regulatoren anbringt. Man kann dieselben sowohl an der Saugröhre als an der Steigröhre anbringen. Umstehende Fig. I. zeigt einen Windkessel bei einer Saugröhre, wie er hin und wieder bei Locomotiven zur Anwendung kommt. A ist das Saugrohr, das sich zu einem Windkessel erweitert, in diese Erweiterung taucht die Verlängerung des Saugrohrs B hinab, a ist das gewöhnliche Saug- oder Bodenventil. Der Windkessel wird zum Theil mit Luft angefüllt bleiben; wenn nun bei der Umkehr des Kolbens das Ventil a sich plötzlich schließt, so wird das im unteren Theile der Saugröhre befindliche Wasser noch fortfahren können zu steigen, es wird in den Windkessel eindringen und die hier befindliche Luft comprimiren; beginnt nun bald darauf bei dem als schnell voraus-

gesetzten Kolbenspiele ein neuer Kolbenhub, so wird diese Compression der Luft im Windkessel dazu dienen, das im oberen Theile der Saugröhre befindliche Wasser gleich nach der Hebung des Ventils a in die Saugröhre zu treiben und so der bewegenden Kraft zu Hülfe kommen. Beistehende Fig. II. stellt einen Windkessel bei einer Steigröhre dar. A ist das Gurgelrohr, aus dem das Wasser bei geöffnetem Gurgelventil b in den Windkessel C tritt, aus diesem erhebt sich nun das Steigrohr D. Durch den Druck des Druckkolbens befindet sich die Luft des Windkessels



im comprimirten Zustande, so daß im Augenblick, wenn sich das Ventil b schließt, das Wasser in der Steigröhre seine Bewegung nicht abzubrechen braucht, sondern es wird durch die Compression der Luft des Windkessels noch weiter aufgetrieben, so daß, wenn bald darauf der Druckkolben wieder das Ventil öffnet, die Wassermasse noch in Bewegung ist, und der Kolben nicht nöthig hat, erst die ganze Wassermasse von neuem in Bewegung zu setzen. Außer zur Ersparung von Arbeit führt der Windkessel also auch noch zu einem fast gleichmäßigen Ausfließen des Wassers.

Einrichtung der Kolben und Ventile.

Der wesentlichste Theil des Kolbens ist die Liederung, d. i. die Vorrichtung zum luftdichten Anschluß des Kolbens an die Stiefelwandung, ohne dadurch die Beweglichkeit des Kolbens zu sehr zu hindern. Erwähnt ist oben schon die Stulp- oder Kappenliederung. Figur III. stellt einen mit ihr versehenen Kolben vor. Um einen cylindrischen Kern a ist eine besonders zubereitete Lederkappe b gelegt, die mit ihrem Rande über dem Kern a hervorragt; durch den Ring c, der in ein Schraubengewinde des unteren Kerntheils eingreift, wird die Kappe festgehalten. Der Bügel d verbindet den Kolben mit der Kolbenstange e; der Kolben ist durchbohrt und trägt das Klappventil f. Steigt der Kolben



aufwärts, so drückt der Wasserdruck den Lederrand gegen die Stiefelwände und bringt dadurch den Verschluß hervor. Man kann auch, wie beistehende Fig. I. zeigt, den Kern conisch machen, die conische Kappe darüber schieben, auf den Kern festnageln oder durch einen darüber geschobenen Ring befestigen. Der Kolben (s. beistehende Fig. II.) ist eine weitere Anwendung dieses Princips; a ist ein metallener, hohler Kegel, gegen dessen innere Wand der Ledertrichter b so liegt, daß sein Rand über den Kegelrand hervorsteht; die inneren Stoßränder der Lederkappe sind nicht genäht, sondern liegen lose über einander. Kegel und Ledertrichter sind am unteren Ende durch die Kolbenstange c, die hier in eine Schraube ausgeht, mittelst der Mutter d festgehalten. Der obere Theil der Kegelwandung ist siebartig durchlöchert, bei der aufsteigenden Bewegung des Kolbens werden diese Löcher durch die Lederkappe bedeckt, die also sowohl zur Dichtung dient, als auch als Ventil wirkt. Als Druckkolben, namentlich für doppeltwirkende Druckpumpen, eignet sich der Figur III. dargestellte Kolben, der aus drei tellerförmigen Metallscheiben a a a, zwischen denen die beiden Lederkappen b b sich befinden, be-

I.



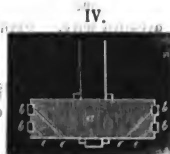
II.



III.



IV.



steht. Die Kolbenstange ist durch sie hindurchgesteckt und eine Schraubenmutter am Ende der Kolbenstange preßt die einzelnen Theile zusammen. Da die Kappen nach entgegengesetzten Richtungen gekehrt sind, so bewirken sie abwechselnd die Dichtung des Kolbens. Figur IV. giebt die Hentschel-Reichenbach'sche Liederung an. In der Cylinderfläche des metallenen Kolbenkerns a sind Ringnuthen b b eingedreht, in welche Lederstreifen eingelegt werden, so daß dieselben etwas aus den Nuthen hervorragen. Von der dem Wasser zugekehrten Seitenfläche des Kolbens gehen Durchbohrungen c c nach den Nuthen. Drückt nun der Kolben gegen das Wasser, so dringt das gepreßte Wasser durch diese Durchbohrungen in die Nuthen und drückt die Lederstreifen gegen die Stiefelwände. — Vielfach wendet man auch den Brahmakolben oder Taucherkolben bei Druckpumpen an, bei ihm fällt Kolben und Kolbenstange zusammen und die Liederung ist am oberen Theile des Kolbenrohres angebracht. (Das Nähere siehe unter Presse, hydraulische.) Bei Pumpen, welche seltener gebraucht werden, ist die Liederung durch Leder nicht anwendbar, da dasselbe beim Trocknen zusammenschrumpfen würde. In diesem Falle kann man mehrere Filzscheiben zwischen zwei Metalltellern zusammenpressen und genau für den Stiefel abdrehen. Eben so ist für Heißwasserpumpen die Anwendung des Leders nicht zulässig. Alsdann kann der Kolben nach der Angabe von umstehender Fig. I. eingerichtet werden. Zwei Metallteller a b lassen an der cylindrischen Mantelfläche einen Raum c frei, in welchen Hanfzöpfe eingelegt werden. Beide Teller, durch

welche die Kolbenstange hindurch gesteckt ist, sind außerdem durch Schrauben verbunden. Ist die Hanfpackung durch den Gebrauch abgenutzt, so zieht man diese Schrauben an, um die Packung wieder nach außen zu treiben und die Dichtung wieder herzustellen. Statt des Leders wendet man in der neueren Zeit auch die Gutta-Percha zur Dichtung an, die sich durch längere Dauer vor dem Leder auszeichnen soll.

I.

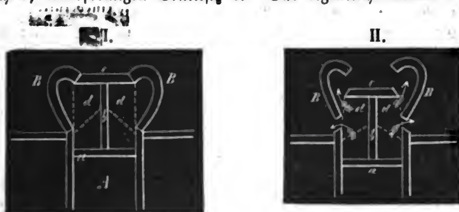


Die Hauptarten der bei Wasserpumpen zur Anwendung kommenden Ventile sind die Klappventile, Kegelventile, Kugelventile und Doppelsitzventile. Die Klappventile bestehen in der Regel aus einer Lederscheibe, die auf beiden Seiten durch Metallplatten ausgesteift wird. An der einen Seite ist die Klappe durch Schrauben und einen darüber gelegten Metallstreifen befestigt, so daß sie um die Befestigungsstelle drehbar bleibt. Hierher gehört auch das Scheibenventil. Es besteht aus einer kreisförmigen Leder- oder Kautschukscheibe von fast gleichem Durchmesser mit dem Kolben, welche auf dem siebartig durchbohrten Kolben liegt und im Mittelpunkte durch die Kolbenstange festgehalten wird. Eben so gehört hierher das Ringventil, das durch eine kreisförmige Metallscheibe gebildet wird, welche die Kolbenstange umfaßt und durch ihr Gewicht die Durchbohrungen des Kolbens verschlossen hält. Das Balancierventil ist eine kreisförmige Scheibe, die sich in der kreisförmigen Oeffnung um eine Axe dreht, welche eine Sehne des Kreises bildet, aber nicht durch den Mittelpunkt desselben geht. Die Höhen der beiden durch sie gebildeten Kreisabschnitte verhalten sich wie 5 : 7. Bei einem verhältnißmäßig geringen Drucke, der gegen das Ventil wirkt, giebt es doch sehr schnell eine große Oeffnung. Die Klappventile sind besonders da anwendbar, wo eine große Wassermenge auf eine geringe Höhe gehoben werden soll. Beistehende Fig. II. giebt einen Durchschnitt eines Kegelventils. Der Ventilkörper a ist ein flacher abgestumpfter Kegel, der in die entsprechend gearbeitete, zu verschließende Oeffnung (Ventilsitz) paßt, seine Führung erhält das Ventil durch einen Stiel b, der durch einen Steg unter dem Ventil oder durch einen über dem Ventil angebrachten Bügel hindurch geht. Ein Bund an diesem Stiel oder eine Schraubenmutter d verhindert, daß sich das Ventil zu hoch hebt. Solche Ventile können angewendet werden, wenn die zu bewegende Flüssigkeit metallene Ventile fordert, doch darf die Flüssigkeit nicht Sand und dergleichen mit sich führen, weil sonst hierdurch der Verschluß des Ventils verhindert werden kann. Giebt man dem Ventilkörper die Gestalt eines Kugelabschnitts, so heißt das Ventil ein Muschelventil. Kugelventile bestehen aus Kugeln, die frei, ohne Führung, durch ihr Gewicht eine kreisrunde Oeffnung schließen. Damit sie nicht durch die bewegte Flüssigkeit von der zu schließenden Oeffnung fortgestoßen werden, so sind sie von einem durchbrochenen Gehäuse umgeben, das der Kugel nur den nöthigen Spielraum läßt. Diese Ventile sind besonders bei sehr schnellem Gange der Pumpen anwendbar und werden auch nicht leicht durch Unreinigkeiten der Flüssigkeit gestört. —

II.



Beistehende Fig. I. und II. giebt einen Durchschnitt eines Doppelsitzventils an, und zwar Fig. I. wenn es geschlossen, und Fig. II. wenn es geöffnet ist. A ist die zu verschließende Röhre. Von dem Stege a geht der Stiel b aus und trägt den unbeweglichen, tellerförmigen Ventilsitz c. Das eigentliche Ventil B ist röhren-



förmig, etwas ausgebaucht und sitzt mit dem unteren Rande auf dem Rande der zu verschließenden Oeffnung, mit dem oberen Rande aber auf dem Rande des tellerförmigen Sitzes c. Seine Führung erhält es durch dünne Flügel d, die fest an dem Stiel b sitzen. Einerseits wird durch eine geringe Hebung dieses Ventils ein verhältnißmäßig großer Raum für den Durchgang der Flüssigkeit frei, andererseits wirkt der oberhalb des Ventils befindliche Flüssigkeitsdruck auf das Ventil selbst nur wenig, so daß es fast lediglich durch sein bloßes Gewicht niedergehalten wird, es zeichnet sich deshalb vor allen anderen Ventilen durch seinen ruhigen Gang aus. — Da eine Störung im Gange der Ventile die Pumpe in der Regel unbrauchbar macht, so werden bei den besseren Pumpen Vorrichtungen getroffen, daß der Zugang zu den Ventilen jederzeit leicht genommen werden kann. Es werden die festen Ventile in Räumen angebracht (Ventilkammern), die durch luftdicht schließende Thüren zugänglich sind.

Besondere Pumpenconstructionen.

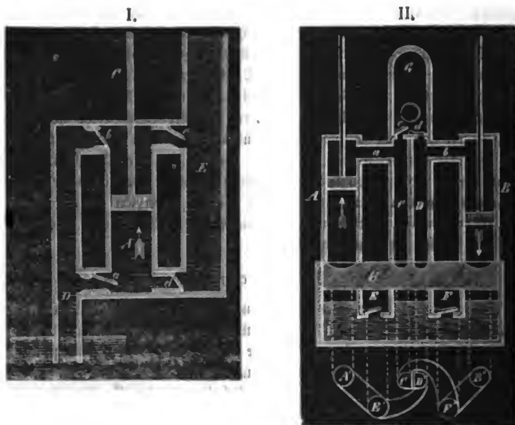
Die bisher behandelte einfache Pumpenconstruction hat nach drei Richtungen hin sich entwickelt, je nachdem es sich darum handelte, eine ununterbrochene Bewegung des Wassers zu erzielen, oder die Reibung des Kolbens zu beseitigen, oder die geradlinige Kolbenbewegung in eine oscillirende oder continuirlich rotirende zu verwandeln. Ohne auf die Einzelnheiten dieser Constructionen einzugehen, was rein technischen Werken vorbehalten bleiben muß, sollen im Folgenden die wesentlichen Eigenschaften der hierher gehörigen Constructionen angegeben werden.

A. Pumpen mit ununterbrochener Wasserbewegung.

Die älteste hierher gehörige Construction rührt von De Lahire her und ist schon seit 1716 bekannt. Es ist die doppelt wirkende Saug- und Druckpumpe. Umstehende Fig. I. giebt einen theoretischen Durchschnitt dieser Pumpe an. A ist der Pumpenstiefel, B ist der massive Kolben, der durch die Kolbenstange C bewegt wird; da, wo diese Kolbenstange durch die Decke des Stiefelraumes dringt, befindet sich eine (in der Zeichnung nicht angedeutete) Stopfbüchse. D ist die Saugröhre, und E die Steigröhre. Aus der Saugröhre führen zwei Ventilöffnungen a b in den Stiefel, aus dem Stiefelraum eben so zwei Ventilöffnungen

cd in die Steigröhre; diese Ventile verhindern die rückgängige Bewegung des Wassers. Die Wirksamkeit der Pumpe ist aus der Zeichnung leicht ersichtlich. Steigt der Kolben aufwärts, so treibt er das über ihm befindliche Wasser vor sich her, verschließt das Ventil b, öffnet das Ventil c, so daß das Wasser in die Steigröhre treten muß. Gleichzeitig muß zur Vermeidung eines luftleeren Raumes das Wasser den unteren Theil des Stiefels anfüllen. Der Andrang des Wassers dahin schließt aber das Ventil d, so daß das Wasser aus der Saugröhre das Ventil a öffnen und den Stiefelraum anfüllen muß. Geht aber der Kolben abwärts, so schließt sich das Ventil a, hingegen öffnet sich das Ventil d, und das Wasser geht aus dem unteren Stiefelraum in die Steigröhre, oberhalb des Kolbens schließt sich das Ventil c, das Ventil b öffnet sich und das Wasser aus der Steigröhre füllt den oberen Stiefelraum.

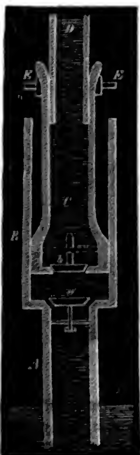
Eine von Brown angegebene Combinirung zweier doppeltwirkender Pumpen, die aber zusammen auch nur vier Ventile nöthig machen, zeigt beistehende Fig. II. A und B sind die beiden Pumpenstiefel mit ihren Kolben, deren Spiel



so regulirt sein muß, daß der eine Kolben steigt, wenn der andere niedergeht. Zwischen beiden Pumpenkörpern steht ein Cylinder, der durch eine Scheidewand längs der Axe in zwei von einander getrennte Kanäle C und D geschieden ist; jeder derselben ist mit dem oberen Theile des ihm zunächst stehenden Stiefels durch ein Rohr a b verbunden. Beide Kanäle CD münden oben in den Windkessel G, die Mündungen sind durch die beiden Ventile cd, die sich aufwärts öffnen, verschließbar. Aus dem Windkessel erhebt sich das Steigrohr. Beide Stiefel und die Kanäle CD stehen auf einer starken Platte H, an deren unteren Seite sich die Saugröhren EF mit den Ventilen EF befinden, welche bis in den Wasserraum I hinabreichen. Die Platte H ist stark genug, um unter ihrer oberen Fläche Kanäle zu

besitzen, von denen die einen die Saugröhre E mit dem Stiefel A und mit dem Kanal D verbinden, die anderen aber die Saugröhre F mit dem Stiefel B und dem Kanal C in Verbindung bringen. (Die Grundrißzeichnung unter der Figur giebt den Lauf dieser Kanäle an.) Hieraus folgt nun, daß der untere Stiefelraum A, der Kanal D und der obere Stiefelraum B in ununterbrochener Verbindung stehen, und eben so der obere Stiefelraum A, der Kanal C und der untere Stiefelraum B. Steigt nun der Kolben A aufwärts und geht der Kolben B abwärts, so öffnet sich das Ventil E, das Wasser tritt in die Saugröhre E, geht von hier gleichzeitig nach dem unteren Stiefelraum A und durch den Kanal D in den oberen Stiefelraum B. Aus dem oberen Stiefelraum A und dem unteren Stiefelraum B geht das Wasser gleichzeitig in den Kanal C, schließt das Ventil F, hebt das Ventil c und tritt in den Windkessel G. Bei der entgegengesetzten Bewegung beider Kolben werden die Ventile c und E geschlossen und die Ventile d und F geöffnet sein. Das Wasser wird durch F angesogen, durch d in den Windkessel getrieben.

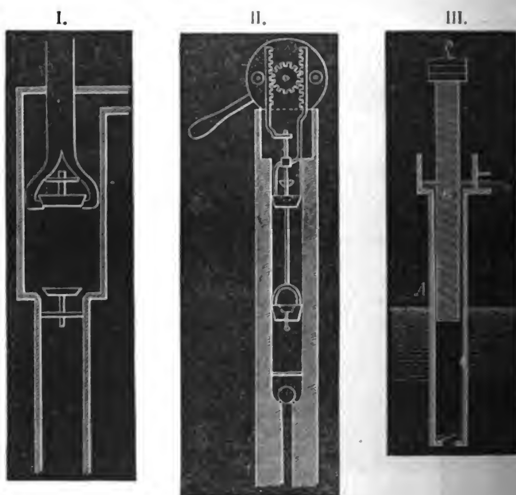
Althan's Perspectivpumpe erreicht eine ununterbrochene Wasserhebung bei nur zwei Ventilen. Beistehende Figur giebt ihre Einrichtung an. A ist die Saugröhre, B der Stiefel, a das Bodenventil. Anstatt des Kolbens haben wir aber die bewegliche Röhre C, die unten kolbenartig sich erweitert, mittelst einer Liederung luftdicht sich an die Stiefelwände anlegt, und hier auch das Kolbenventil b trägt. Die obere Oeffnung dieser Kolbenröhre umfaßt luftdicht die Steigröhre D. Die Axe E, welche fest mit der Kolbenröhre C verbunden ist, dient der Kraft zum Angriffspunkt, durch welche die Röhre C auf- und abbewegt wird. Wesentlich ist nun, daß die innere Querschnittsfläche der Röhre C gerade halb so groß ist als die Querschnittsfläche des Stiefels B. Bewegt sich nun die Röhre C aufwärts, so schließt sich das Ventil b, und das über diesem Ventil in der Röhre C befindliche Wasser wird gehoben und in die Steigröhre D gedrängt, gleichzeitig saugt die Pumpe unter der Kolbenröhre das Wasser an, das Ventil a hebt sich und der Raum zwischen beiden Ventilen füllt sich mit Wasser. Geht nun die Kolbenröhre C wieder herab, so schließt sich das Ventil a, das Ventil b öffnet sich und das im Stiefel befindliche Wasser muß in die Röhre C treten. Da aber diese Röhre einen Querschnitt hat, der halb so groß ist als der Querschnitt des Stiefels, so kann sie nur die Hälfte des Wassers fassen, das im Stiefel war, die andere Hälfte muß sogleich in die Steigröhre D übergehen. Hieraus folgt nun, daß das Wasser in der Steigröhre fortwährend im Steigen bleibt, mag die Kolbenröhre aufwärts oder abwärts gehen.



Das Princip dieser Construction läßt sich auch in der Weise anwenden, wie umstehende Fig. I. zeigt. Man macht die Kolbenstange so stark, daß ihr äußerer Querschnitt halb so groß ist als der lichte Querschnitt des Stiefels, deshalb bleibt für den freien Raum im Stiefel über dem Kolben nur halb so viel Quer-

schnittsfläche übrig, als der untere Stiefelraum besitzt. Tritt nun bei der abwärtsgehenden Bewegung das Wasser über den Kolben, so hat hier nur die Hälfte desselben Platz, die andere Hälfte muß sogleich in die Steigröhre treten, so daß hier das Wasser im Steigen bleibt, auch wenn der Kolben abwärts geht. Nach diesem System sind die von Kirchmeyer construirten Pumpen der städtischen Wasserleitung zu Hannover eingerichtet, bei welcher auch die Ventile nicht, wie in der Zeichnung angedeutet ist, Kegelventile sind, sondern Doppelsitzventile.

Beistehende Fig. II. stellt die Taylor'sche Pumpe mit zwei Kolbenstangen dar. Die beiden Kolbenstangen sind gezahnt und können mittelst eines kleinen Stirnrades so bewegt werden, daß die eine sich aufwärts bewegt, wenn die andere abwärts geht. Die Kolbenstange des unteren Kolbens geht frei durch den oberen Kolben und dessen Ventil hindurch; dieses Ventil besteht aus einem Kugelsegment, das an jener es durchdringenden Kolbenstange seine Führung hat. Der untere



Kolben hat ein gewöhnliches Kegelventil. — Der jedesmal aufsteigende Kolben saugt und hebt zugleich das Wasser, der abwärts gehende Kolben läßt dann das Wasser frei durch sein geöffnetes Ventil gehen. Da nun fortwährend ein Kolben aufsteigt, so bleibt auch das Wasser in ununterbrochener aufsteigender Bewegung.

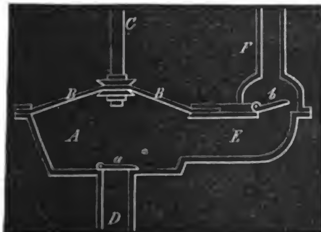
B. Pumpen ohne Kolbenreibung.

Handelt es sich darum, Wasser nur auf eine geringe Höhe zu heben, so kann man sich der in beistehender Fig. III. angegebenen Construction bedienen. Das Kolbenrohr A, das am unteren Ende mit einem Ventil versehen ist, ist bis zur Hälfte seiner Länge in den Sumpf eingesetzt, so daß es sich von selbst bis zur

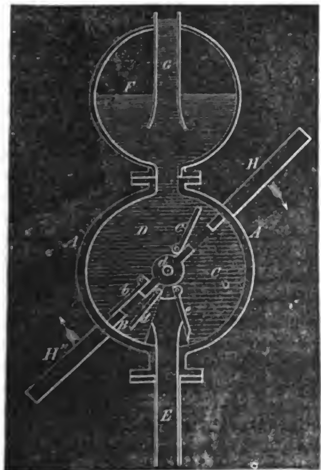
Hälfte mit Wasser füllt. Der Kolben B ist ein Taucherkolben und füllt das Kolbenrohr fast aus. Wird er niedergedrückt, so verdrängt er das im unteren Theil des Kolbenrohrs befindliche Wasser, dasselbe muß zwischen Kolben und Stiefelwand aufwärts steigen und kommt oben zum Ausfluß.

Bei der Sackpumpe (s. beistehende Fig. I.) ist an die Stelle des Kolbens ein lederner Sack getreten. Der Stiefel A hat hier die Gestalt einer Schüssel oder eines abgestumpften Kegels. Mit dem Rande desselben ist der Rand eines ledernen Sackes fest verbunden, der in seiner Mitte von der eigentlichen Kolbenstange C erfaßt wird. Mit dem Stiefel A ist nun in gewöhnlicher Weise die Saugröhre D mit dem Saugventil a, ferner das Gurgelrohr E mit dem Gurgelventil b und dem Steigrohr F verbunden. Wird nun durch die Kolbenstange der Ledersack aufwärts gezogen, so muß das Wasser aus der Saugröhre in den Stiefel nachfolgen, wird er aber niedergedrückt, so muß das Wasser aus dem Stiefel in die Steigröhre dringen, ganz so, wie es bei einer Druckpumpe der Fall ist.

I.



II.



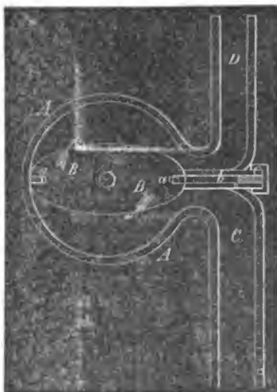
Dieses Princip, den Kolben mit seiner Liederung durch einen mit seinem Rande befestigten Ledersack zu ersetzen, läßt sich in mannichfacher Modification zur Anwendung bringen, worauf wir hier nicht eingehen können.

C. Pumpen mit rotirenden Kolben.

Die Brahma'sche Pumpe hat einen oscillirend rotirenden Kolben. Das Kolbenrohr A (s. beisteh. Fig. II.) ist ein horizontaler Cylinder, der Kolben ist eine ebene rechteckige Platte, welche sich um die Axe a des Kolbenrohres drehen kann, mit zwei Rändern fortwährend den Mantel, und mit den beiden anderen die Stirnwände des Kolbenrohrs wasserdicht berührt; außerdem geht durch die ganze Länge des Cylinders eine feste Scheidewand von der festen Drehaxe senkrecht herab bis auf den Umfang desselben, doch ohne die Beweglichkeit der Axe zu hindern. Hierdurch wird der innere Raum des Cylinders in drei Abtheilungen B C D getheilt, von denen die Abtheilungen B und C mit der

dritten D durch die beiden im Kolben angebrachten Ventilöffnungen b und c in Verbindung stehen. In den Körper jener Scheidewand dringt das Saugrohr E ein und öffnet sich nach beiden Seiten, so aber, daß die Oeffnungen durch die Ventile d und e verschließbar sind. Nach oben steht der Cylinder A mit dem Windkessel F in Verbindung, aus welchem sich das Steigrohr G erhebt. Mit Hülfe des Hebels H, der an einem durch eine Stopfbüchse aus dem Cylinder hervortretenden Ende der Axwelle befestigt ist, läßt sich der Kolben bewegen, doch bestehen diese Bewegungen nur in halben Rotationen mit wechselnder Richtung. Bewegt sich nun der Hebel mit dem Kolben in der durch die Pfeile angegebenen Richtung, so sind in Folge des Wasserdrucks die Ventile b und e geschlossen, hingegen die Ventile c und d sind geöffnet, das Wasser dringt aus der Saugröhre in den Raum B, und aus dem Raum C wird es nach D und von hier in den Windkessel gedrückt. Kehrt nach einer halben Rotation die Bewegung um, so sind die Ventile c und d geschlossen, b und e aber geöffnet, das Wasser fließt aus der Saugröhre in den Raum C, und aus dem Raum B geht es nach D und von hier in den Windkessel. Diese Pumpe giebt also auch eine ununterbrochene Bewegung des Wassers.

Beistehende Figur stellt eine andere Rotationspumpe dar. A A ist der horizontale, vollkommen hohle, cylindrische Stiefel, um seine Axe dreht sich der im Querschnitt elliptische Kolben B, der allseitig einen, durch Liederungsvorrichtungen a a bewirkten, wasserdichten Anschluß gegen die Cylinderwände hat; außerdem ist noch ein Absperrungsriegel b vorhanden, der, wenn der Kolben eine andere als die gezeichnete Stellung angenommen hat, aus seinem Lager durch die Feder c hervorgetrieben wird, so daß er mit seinem vorderen Rande immer die Oberfläche des Kolbens berührt und die untere Hälfte des Cylinderraumes von der oberen fortwährend getrennt hält, ohne doch die volle Rotation des Kolbens zu verhindern. Ventile sind nicht nothwendig. C ist die Saugröhre und D die Steigröhre. Dreht sich der Kolben B in der durch die Pfeile angegebenen Richtung um, so wird das Wasser über dem Kolben in die Steigröhre gedrängt, im unteren Theile des Cylinders geht der Kolben sogleich an der Mündung der Saugröhre vorbei, worauf links vom Kolben ein mit Wasser gefüllter, allseitig begrenzter Raum entsteht, mit welchem das Wasser allmälig in den oberen Theil des Cylinders übergeführt wird; rechts vom Kolben zwischen ihm und dem Absperrungsriegel b bildet sich aber ein Raum, der sich fortwährend vergrößert und dadurch das Wasser aus der Saugröhre ansaugt, bis nach einer halben Drehung das ursprüngliche Verhältniß wieder eingetreten ist.



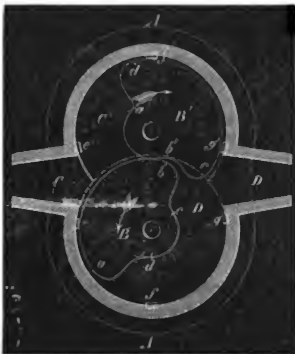
Umstehende Figur giebt einen Durchschnitt einer Rotationspumpe mit zwei

Kolben an. Das eigentliche Kolbenrohr hat eine Gestalt, die durch zwei horizontale, gleich große, parallel neben einander liegende Cylinder bestimmt wird, die gegenseitig bis auf eine gewisse Tiefe in einander eindringen. Um die Axe jedes dieser beiden Cylinder dreht sich ein Kolben, der aus einem massiven Kern besteht, an den sich der Länge nach mehrere Flügel anlegen, die bis zur Cylinderwand reichen und hier bei der Rotation einen wasserdichten Abschluß bilden. Beide Kolben sind genau gleich, und die Flügel und deren Zwischenräume müssen so gestaltet sein, daß beide Kolben nicht blos einen Eingriff haben, wie zwei Stirnräder, sondern daß auch in diesem Eingriff ein wasserdichter Abschluß stattfindet. Die Querschnitte der Flügel und der Zwischenräume müssen also durch solche Curven begrenzt sein, wie sie den Anforderungen der Stirnräderbewegungen entsprechen. Damit nun beide Kolben eine gleiche Bewegung annehmen, wird diese Bewegung nicht unmittelbar von dem einen auf den anderen übertragen, sondern die Axen derselben sind einerseits über die Stirnwände der Kolbenröhre verlängert und tragen hier zwei ganz gleiche in Eingriff mit einander stehende Stirnräder. Nun braucht nur an der einen Axe die bewegende Kraft angebracht zu sein, um zugleich auch der anderen die gerade entsprechende Bewegung zu ertheilen. Werden die beiden Kolben in der durch die Pfeile angegebenen Richtung umgedreht, so wird fortwährend an der Einmündungsstelle der Röhre C eine Bewegung der Kolbenflügel von einander, also eine Erweiterung des dort vorhandenen freien Raumes stattfinden, während an der Einmündungsstelle der Röhre D die Kolbenflügel sich gegen einander bewegen, den dortigen freien Raum also verengen. Daher wirkt bei der angegebenen Drehrichtung die Röhre C als Saugrohr, die Röhre D als Steigrohr; bei der entgegengesetzten Drehrichtung würden beide Röhren ihre Bedeutung umkehren. Das aufgesogene Wasser wird zunächst von den nachfolgenden Kolbenflügeln von der Wassermasse des Saugrohres abgeschlossen und an der Wand des Kolbenrohres herumgeführt bis zur Einmündungsstelle des Steigrohres, weshalb auch die Kolbenflügel an den Stellen, an welchen sie mit der Wand der Kolbenröhre in Verbindung kommen, mit einer Liederung versehen sind.



Die Anzahl der Kolbenflügel, die in unserer Zeichnung zu sechs angenommen ist, ist offenbar unwesentlich, man kann die Zahl beliebig vermindern, ja man kann bis auf einen herabgehen. In diesem Falle nimmt die zweikolbige Rotationspumpe die Einrichtung an, wie sie ihr von dem Mechaniker Repsold gegeben ist. Umstehende Figur giebt in einem Durchschnitt die wesentlichen Theile derselben an. Das Kolbenrohr A, so wie seine Verbindung mit dem Saugrohre C und dem Steigrohre weicht nicht von der vorigen Einrichtung ab; eben so ist die gegenseitige Lage und Bewegung der beiden Kolben B und B' dieselbe geblieben, dabei hat sich aber die Querschnittsgestalt der Kolben in der oben abgeleiteten Weise geändert. Beide Querschnittsfiguren sind congruent, in der Figur B ist von a bis b ein Kreisbogen zu einem größeren und von c bis d einer zu einem

kleineren Radius, dazu liegen die Grenzpunkte a und c und b und d einander diametral gegenüber. Eben dasselbe gilt von der Figur B'; die Curven zwischen a und d, b und c einerseits und zwischen a' und d' und zwischen b' und c' andererseits müssen dem Gesetz der Zahncurven von mit einander in Eingriff stehenden Stirnrädern entsprechen, und da hierbei immer noch eine gewisse Willkür möglich bleibt, so macht Repsold einen Theil dieser Begrenzungsstrecken geradlinig. Hieraus folgt nun, daß, wenn die Kolben sich mit gleicher Winkelgeschwindigkeit, aber entgegengesetzter Drehrichtung bewegen, die Peripherien beider Kolben mit einander in gleitender Berührung bleiben, und zwar wird sich der Bogen a b gleitend auf a' b' bewegen, eben so b c auf b' c', c d auf c' d' und d a auf d' a'. Durch sorgfältige Arbeit muß an der Berührungsstelle ein wasserdichter Abschluß erzielt werden. Der andere wasserdichte Abschluß, nämlich der zwischen den Kolben mit der Cylinderwand wird dadurch erreicht, daß an der letzteren die federnden Dichtungsleisten e f g und e' f' g' angebracht sind. Die Thätigkeit der Pumpe erklärt sich leicht, wenn man in der Vorstellung eine Rotation der Kolben verfolgt. Geht man von der in der Zeichnung angegebenen Kolbenstellung aus, so wird sich bei fortschreitender Rotation der Raum C' anfangs noch erweitern, der Raum D' aber sich verkleinern, darauf wird, etwa nach einer Drittel-Rotation, der Kolben B' eine solche Stellung angenommen haben, daß er einen Theil der Wassermenge C' von dem übrigen trennt und ihn bald darauf in den Raum D' übergehen läßt; dadurch wird der Raum C' wieder klein, der Raum D' wieder groß. Derselbe Vorgang wiederholt sich bald an dem Kolben B, so daß fortwährend das Wasser in C' angesogen, nach D' herumgeführt und von hier in die Steigröhre D gedrückt wird. Das Wichtigste, aber auch Schwierigste in der Herstellung dieser Pumpen, die von Repsold auch zur Herstellung von Spritzen verwandt sind, ist die richtige Gestalt der Kolben und die genaue Dichtung; die hier eintretenden praktischen Schwierigkeiten werden eine allgemeinere Anwendung dieser Pumpen wohl verhindern.



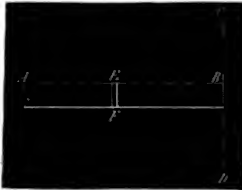
Centrifugalpumpen.

Bei den Kolbenpumpen bewirkt der feste Kolben die Bewegung des Wassers, indem er entweder einen luftleeren Raum erzeugt, in den das Wasser durch den Luftdruck getrieben wird, oder indem er das Wasser vor sich hertreibt. Die Dichtung zwischen Kolben und Kolbenrohr ist daher unerläßliche Bedingung. Bei der Centrifugalpumpe fällt der Kolben ganz weg und auch die Ventile sind nicht durchaus nöthig; wo sie vorkommen, haben sie nur untergeordnete Bedeutung. Bei allen Centrifugalpumpen wird eine Wassermasse in rotirende Bewegung versetzt, und die hierdurch dem Wasser ertheilte Centrifugalität ist Ursache der Bewegung.

Man kann auch die Centrifugalpumpen eintheilen in Saugpumpen und Druckpumpen, je nachdem die bewegende Kraft eine Wassersäule nach sich zieht oder vor sich hertreibt.

Um die Größe der Centrifugalität einer rotirenden Wassermasse zu bestimmen, bezeichne A B in nebenstehender Fig. I. eine horizontale, mit Wasser gefüllte Röhre von der Länge l und dem Querschnitt f, dieselbe drehe sich mit einer Winkelgeschwindigkeit α um die verticale Axe C D. In E F im Abstande E B = x von der Axe C D denke man sich ein kleines cylindrisches Wasserelement von der Dicke dx, also von dem Gewicht $f\,dx\,.\,\gamma$, wenn γ das Gewicht der Volumeneinheit Wasser bezeichnet, so ist die Kraft der Centrifugalität dieses Elements

I.



$$f\gamma\,dx\,.\,\frac{x\alpha^2}{g},$$

folglich ist die Kraft der Centrifugalität der ganzen in A B enthaltenen Wassermasse

$$\frac{f\gamma\alpha^2}{g}\int_0^l x\,dx = \frac{f l^2\gamma\alpha^2}{2g},$$

also gleich dem Gewicht einer Wassersäule von der Höhe $\frac{l^2\alpha^2}{2g}$.

Es stellt nun beistehende Fig. II. eine Centrifugalsaugpumpe dar. A ist ein verticales Saugrohr, von dessen oberem Ende die beiden horizontalen Arme B B′ ausgehen. Das Ganze ist um die beiden Zapfen a b drehbar und außerdem mit einem Mechanismus versehen, durch den es in Rotation um diese Zapfen versetzt werden kann. Das Saugrohr ist unten offen und taucht in das Unterwasser, an den Enden der Arme befinden sich Ausgußöffnungen, die das Wasser in eine darunter befindliche Rinne C C einfließen lassen. Es sei l die Länge der Arme von der Drehaxe bis zur Mitte der Ausgußöffnung, h die Höhe der zu hebenden Wassersäule vom Unterwasserspiegel bis zur Mitte der Ausgußöffnung. D der Durchmesser der Saugröhre, und machen wir die Weite jedes Armes im Querschnitt halb so groß wie die Weite der Saugröhre, so ist also der Durchmesser des Armes und eben so der Ausgußöffnung $\frac{D}{\sqrt{2}}$. Es sei ferner c die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Wasser in den Röhren bewegt, und α die

II.



Umdrehungsgeschwindigkeit der Pumpe. Nach der oben ausgeführten Rechnung ist der Zug der Centrifugalität des Wassers in den beiden Armen gleich dem Gewicht der Wassersäule von der Höhe $\frac{l^2 \alpha^2}{2g}$, hiervon kommt in Abzug die Höhe h der zu hebenden Wassersäule, also entspricht die bewegende Kraft einer Druckhöhe $\frac{l^2 \alpha^2 - 2gh}{2g}$. Diese Druckhöhe zerfällt in die Widerstandshöhe für die Adhäsion des Wassers und in die Geschwindigkeitshöhe; jene beträgt für die Saugröhre nach früher schon erörterten Formeln $0{,}03 \frac{h}{D} \cdot \frac{c^2}{2g}$ und für die Arme $0{,}03 \frac{l\sqrt{2}}{D} \cdot \frac{c^2}{2g}$, diese ist $\frac{c^2}{2g}$; deshalb folgt die Gleichung

$$\frac{l^2 \alpha^2 - 2gh}{2g} = \frac{c^2}{2g} + 0{,}03 \frac{(h + l\sqrt{2})}{D} \cdot \frac{c^2}{2g}, \text{ also:}$$

$$c = \sqrt{\frac{D(l^2\alpha^2 + 2gh)}{D + 0{,}03(h + l\sqrt{2})}}.$$

Damit also überhaupt durch diese Pumpe Wasser gehoben werde, muß α mindestens so groß sein, daß $l^2\alpha^2 > 2gh$ ist, es muß also $\alpha > \frac{\sqrt{2gh}}{l}$ sein; auch liegt es nahe, daß auch diese Pumpe das Wasser nicht höher ansaugen kann, als eine gewöhnliche Kolbensaugpumpe, es muß $h < H$, kleiner als die dem Atmosphärendruck entsprechende Wassersäulenhöhe sein. Wenn nun α das Minimum $\frac{\sqrt{2gh}}{l}$ muß überschritten haben, damit überhaupt Wasser angesogen werde, so darf doch α nicht jeden beliebigen größeren Werth annehmen; denn wird $\frac{l^2\alpha^2}{2g} > H$, so überwindet der Druck der Centrifugalität den Gegendruck der Atmosphäre, und es reißt sich das Wasser in den Armen los von dem Wasser in der Saugröhre, wenn die Länge der letzteren auch noch so gering ist. Demnach muß α zwischen den Grenzen $\frac{\sqrt{2gh}}{l}$ und $\frac{\sqrt{2gH}}{l}$ liegen, wenn die Pumpe wirksam sein soll. Die größte Geschwindigkeit c', die man demnach dem aufsteigenden Wasser überhaupt ertheilen könnte, wäre nun hiernach

$$c' = \sqrt{\frac{2Dg(H - h)}{D + 0{,}03(l + D\sqrt{2})}}.$$

Um den Effect dieser Maschine zu bestimmen, wollen wir annehmen, die Ausgußöffnungen hätten die günstigste Stellung, die nämlich, in welcher sie das Wasser senkrecht zur Armlänge ausfließen lassen, aber in einer der eigenen Bewegung der Oeffnung entgegengesetzten Richtung; denn bei dieser Lage giebt das Wasser einen Theil der auf seine Beschleunigung verwandten Arbeit an die Maschine durch Reaction wieder zurück. Ist F der Querschnitt der Saugröhre, so wird in der Zeit t die Wassermasse $Fct\gamma$ auf die Höhe h gehoben, es beträgt

also die Nutzarbeit $F c h t \gamma$. Hierzu kommt aber noch die Arbeit wegen der Hindernisse in der Wasserbewegung, weshalb h sich um die Widerstandshöhe $0{,}03 \left(\frac{h + l\sqrt{2}}{D}\right) \cdot \frac{c^2}{2g}$ vermehrt, gleichzeitig muß eine gleiche Wassermenge auf die Geschwindigkeit $(l\alpha - c)$ des ausfließenden Wassers gebracht werden, dazu ist die Arbeit $F c t \gamma \cdot \frac{(l\alpha - c)^2}{2g}$ nöthig, und außerdem ist die Zapfenreibung zu überwinden. Ist Q das Gewicht der Maschine mit Zubehör, so weit sie den Zapfen a belastet, ist ϱ der Radius dieses Zapfens und μ der Coefficient seiner Reibung, so erfordert die Zapfenreibung in der Zeit t die Arbeit

$\mu Q \cdot \frac{2}{3} \varrho \alpha t$, folglich ist die gesammte zu leistende Arbeit

$$L = F c t \gamma \left[h + 0{,}03 \frac{h + l\sqrt{2}}{D} \cdot \frac{c^2}{2g} + \frac{(l\alpha - c)^2}{2g}\right] + \frac{2}{3} \alpha t \mu Q \varrho.$$

Von dieser Arbeit giebt nun $F c h t \gamma$ den Theil an, der dem Nutzeffect entspricht. Denken wir uns, die Rotation der Pumpe werde mittelst eines auf der Saugröhre als Welle sitzenden Stirnrades bewirkt und es sei R dessen Radius, P aber der zwischen den Zähnen wirkende Druck, so wäre auch

$L = P R \alpha t$, folglich ist

$$P = \frac{2}{3} \mu Q \frac{\varrho}{R} + \frac{F c \gamma}{R \alpha}\left[h + 0{,}03 \frac{h + l\sqrt{2}}{D} \cdot \frac{c^2}{2g} + \frac{(l\alpha - c)^2}{2g}\right].$$

In diesen Formeln sind α und c von einander abhängig. Um nun hieraus die Natur unserer Centrifugalsaugpumpe am leichtesten erkennen zu können, wollen wir jetzt den Einfluß der Zapfenreibung und der Adhäsion des Wassers an den Röhrenwänden außer Betracht lassen; es ist alsdann

$$c = \sqrt{l^2\alpha^2 - 2gh},\quad c' = \sqrt{2g(H - h)},\quad L = F c t \gamma \left[h + \frac{(l\alpha - c)^2}{2g}\right].$$

Die aufzuwendende Arbeit ist also im Vergleich zum Nutzeffect um so größer, je größer $h + \frac{(l\alpha - c)^2}{2g}$ gegen h ist. Nun ist

$$l\alpha - c = l\alpha - \sqrt{l^2\alpha^2 - 2gh},$$

differenzirt man letzteren Ausdruck nach α, so erhält man für alle Werthe von α, die einer Wirksamkeit der Pumpe entsprechen, einen negativen Differentialquotienten; folglich nimmt das Glied $\frac{(l\alpha - c)^2}{2g}$ ab, wenn α zunimmt. Man erhält also den größten Nutzeffect, wenn man die Pumpe mit der größten zulässigen Geschwindigkeit rotiren läßt. (Hierbei ist nicht zu übersehen, daß dieses Resultat durch die Stellung der Ausflußöffnungen bedingt ist; wollte man das Wasser anders, etwa radial ausfließen lassen, so würde das Resultat gerade das entgegengesetzte sein, der Effect würde mit steigender Umdrehungsgeschwindigkeit abnehmen.) Der kleinste zulässige Werth von α ist $\frac{\sqrt{2gh}}{l}$, der größte $\frac{\sqrt{2gH}}{l}$, es liegt also

der Ausdruck $h + \frac{(l u - c)^2}{2 g}$ zwischen den Grenzen $2 h$ und $2 H - 2 \sqrt{H (H - h)}$,

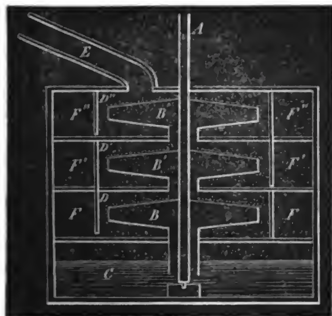
der Nutzeffect liegt also zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{h}{2 H - 2 \sqrt{H (H - h)}}$ des Totaleffects. Setzen wir beispielsweise $h = 20'$ und nehmen $H = 33'$, so müßte die Umdrehungsgeschwindigkeit bei 5 Fuß langen Armen zwischen 7,06 und 9,08 liegen, d. h. die Pumpe müßte in der Minute 67,4 bis 86,7 Umdrehungen machen, dann würde der Nutzeffect zwischen $1/2$ und 0,81 liegen, also bei steigender Geschwindigkeit von 50 Proc. bis 81 Procent wachsen.

Um die Centrifugalpumpen wirken zu lassen, müssen die Arme und die Saugröhre mit Wasser gefüllt sein. Zu dem Ende bringt man am unteren Ende der Saugröhre ein Ventil c an, füllt von oben die ganze Pumpe mit Wasser und setzt sie dann in Rotation. Dieses Ventil wird dann auch dazu dienen, das nöthige Wasser für die spätere Arbeit der Pumpe in derselben zurückzuhalten, so daß das Anfüllen derselben später nicht wieder von neuem nothwendig wird.

Eine Centrifugaldruckpumpe könnte die entgegengesetzte Einrichtung haben in Vergleich mit der eben behandelten Saugpumpe, nämlich der rotirende Arm müßte sich dann unten befinden und an seinem Ausgangspunkte wäre der Anschluß an das Steigrohr. Das hätte aber zur Folge, daß das ganze Steigrohr in einem Abstande gleich der Armlänge sich um die Rotationsaxe drehen müßte, woraus sich große praktische Unbequemlichkeiten ergeben würden. Um diese Uebelstände zu umgehen, giebt man der Centrifugaldruckpumpe folgende Einrichtung. An die Stelle des einen oder der zwei rotirenden Arme tritt ein Rad von meistens nur geringen Dimensionen. Das Rad ist am besten wie ein Turbinenrad gestaltet, es hat Kanäle, die von der hohlen Axe ausgehen und in einer Krümmung nach der Peripherie verlaufen, so daß sie das Wasser fast in der Tangentialrichtung ausgießen. Das Rad selbst befindet sich in einem nur mit dem Steigrohre communicirenden abgeschlossenen Raum und steht mit der zu hebenden Flüssigkeit nur durch die hohle Axe in Verbindung. Es wird durch eine angemessene mechanische Vorrichtung in Rotation versetzt, die um so schneller sein muß, je kleiner das Rad ist; alsdann wird das Wasser durch die hohle Rotationsaxe angesogen, und durch die Centrifugalität des jedesmal im Rade befindlichen Wassers wird auf das Wasser in der Umgebung ein Druck ausgeübt, in Folge dessen das Wasser in der Steigröhre aufsteigen muß. Dabei ist die besondere Lage des Rades ohne Einfluß.

In der Centrifugalhochdruckpumpe von Gwynne ist dieses Princip so angewandt, daß schon bei einer mäßigen Rotationsgeschwindigkeit eine größere Druckhöhe erzielt wird. Umstehende Figur giebt einen Durchschnitt dieser Pumpe. A ist die verticale Rotationsaxe, an derselben befinden sich drei (oder mehrere) Turbinenräder B B′ B″, die das Wasser in der unteren Centralöffnung aufnehmen, durch gekrümmte Kanäle bis an die Peripherie führen und hier fast in der Tangentialrichtung in die Wasserkammer D D′ D″ treten lassen, von denen jede mit der Centralöffnung des folgenden Rades in Verbindung steht, von der oberen aber geht das Steigrohr E aus. Das untere Rad nimmt das Wasser aus dem Wasserbehälter C auf. Damit das Wasser in den Kammern D D′ D″ durch Adhäsion an den Wänden der Räder nicht auch in Rotation gerathe, befinden sich in dem

übrigen, von den Rädern nicht in Anspruch genommenen Raum feste, verticale Scheidewände, die dem Wasser nur gestatten, sich aufwärts nach der Centralöffnung des nächsten Rades zu bewegen. Die Kammern D D' D'' stehen mit den sie cylinderförmig einschließenden Windkesseln F F' F'' in Verbindung, die in bekannter Weise zur Regulirung der Bewegung des Wassers dienen.



Rotirt nun die Axe A, so wird durch die Centrifugalität des Wassers in B sowohl das Wasser aus C aufgesogen, als auch ein Druck auf das Wasser in D ausgeübt und in Folge davon hat das Wasser in D schon eine gewisse Steigkraft; mit dieser gelangt es in das Rad B', wird hier von neuem in Rotation versetzt, durch welche der Druck auf das Wasser in der Kammer in D' noch größer wird, dasselbe geschieht in dem dritten Rade in Bezug auf das Wasser in der dritten Kammer u. s. f., wenn mehrere Räder vorhanden sind. Da der Centrifugalitätsdruck, wie oben entwickelt ist, mit dem Quadrate der Peripheriegeschwindigkeit wächst, so würden vier Räder dazu gehören, um bei einfacher Geschwindigkeit dieselbe Wirkung auszuüben, als ein Rad bei der doppelten Geschwindigkeit ausüben würde.

Wenngleich die Centrifugalpumpen den Vortheil darbieten, den die rotirende Bewegung immer vor der wiederkehrend geradlinigen Bewegung besitzt, so werden die Centrifugalpumpen dennoch in ihren Leistungen hinter den Kolbenpumpen zurückbleiben; denn sie werden immer mit Kraftverlust arbeiten müssen, weil die größere Geschwindigkeit, zu welcher sie das Wasser in der Rotation bringen müssen, sich nicht wieder zu Gunsten der Wasserhebung verwerthen läßt, also ungenutzt bleibt. Außerdem spricht für die Kolbenpumpe noch die einfachere Einrichtung, und ihre leichtere Herstellung und Anwendung. W. S.

Pyrometer (v. d. griech. *πῦρ*, Feuer, und *μέτρον*, Maaß) sind Instrumente, um Hitzegrade, welche vermittelst der gewöhnlichen Thermometer nicht mehr gemessen werden können, auf eine vergleichbare Weise zu bestimmen.

Die gewöhnlichen Thermometer, welche sich bekanntlich auf die bei eintretenden Temperaturveränderungen erfolgenden Volumenveränderungen der Körper, namentlich an Quecksilber und Weingeist, welche in hermetisch verschlossenen Glasröhren sich befinden, gründen, hören natürlich auf anwendbar zu sein, wenn die Hitze den Schmelzpunkt des einschließenden Glases erreicht. Bei höheren Temperaturen mußte man an andere Vorrichtungen denken, und da das Princip der gewöhnlichen Thermometer sich zu den Zwecken, welche dadurch erreicht werden sollen, so gut bewährt hatte, so blieb man auch zunächst bei demselben stehen. Es liegt jedoch nicht fern, da man auch aus anderen Erscheinungen (Veränderungen), welche durch Temperaturveränderungen herbeigeführt werden, auf die

Temperatur, welche dieselben bedingte, zurückzuschließen berechtigt ist, die Construction der Pyrometer auf andere Principe zu basiren. Das Schwinden so mancher Körper bei steigender Wärme, die Aggregatsänderungen, das Wärmeleitungsvermögen, die Wärmecapacität, die Farbenänderungen, die Wärmestrahlung, die elektrischen Strömungen, alle diese Erscheinungen können wenigstens theoretisch zu pyrometrischen Messungen einen Anhalt geben, wobei es freilich fraglich ist, ob die praktische Ausführung sich bewährt, und namentlich ein Pyrometer daraus resultirt, welches vergleichbare Angaben giebt.

Aus der Farbe des Eisens schließt der Schmied, der Schlosser, die Plätterin u. s. w., ob das Eisen die nöthige Hitze hat; aus der Farbe des Stahls beim Anlaufenlassen desselben schließt man auf die Temperatur, welche den erlangten Grad der Elasticität und Härte bestimmt; auf die Farbe des Feuers achtet der Fabrikant irdener Geschirre, um zu beurtheilen, ob die Hitze die zum Brennen zweckmäßige sei; aus dem Silberblicke erkennt der Hüttenmann, daß die Scheidung des Silbers eingetreten ist, und dergleichen mehr. Wir sehen hieraus, daß die Farbe einen Anhalt zu pyrometrischen Messungen gewährt, daß dies Princip hier sogar praktisch ist, aber ein allgemeines, vergleichbares Pyrometer möchte sich schwerlich darauf basiren lassen.

Die Wärmestrahlung ist ohne Erfolg von Sweeny *) in Vorschlag gebracht; man sollte die Hitze der Oefen aus der Temperatur messen, welche die von einem Hohlspiegel gegen ein Thermometer reflectirten Strahlen erzeugen.

Das Wärmeleitungsvermögen würde brauchbar sein, wenn das Gesetz des Fortschreitens der Erwärmung in einem langen Körper, z. B. in einer Metallstange, die in gleichen Abständen mit Vertiefungen versehen wäre, welche mit Quecksilber gefüllt würden und Thermometer enthielten, nicht durch die bedeutenden Wärmeverluste in Folge von Mittheilung an die Umgebung und in Folge von Ausstrahlung gestört würde.

Auf die Aggregatsänderungen basirte Prinsep **) ein Pyrometer. Als fixe Punkte der Scala gelten die Schmelzpunkte des Silbers, Goldes und Platins; die Zwischengrade werden durch die Schmelzpunkte von Legirungen dieser Metalle, die nach einem bestimmten Verhältniß derselben gemacht sind, gegeben. Da der Schmelzpunkt des Goldes nicht viel höher als der des Silbers ist, so werden blos 10 Zwischengrade zwischen den Schmelzpunkten beider angenommen, welche Grade so bestimmt sind, daß die Quantität Goldes in jeder der Zwischenlegirungen immer um 10 Procent zunimmt und der Grad 10 selbst dem Schmelzpunkte des reinen Golds, der Nullpunkt dem Schmelzpunkte des reinen Silbers entspricht. Zwischen dem Schmelzpunkte des reinen Goldes bis zu dem des reinen Platins sind 100 Grade angenommen, indem successiv 1 Procent des letzteren Metalles für jede höhere Legirung zugesetzt wird, so daß 100° dem reinen Platin selbst entspricht. Es ist allerdings sehr fraglich und selbst wenig wahrscheinlich, daß diese so festgesetzten Grade den wirklichen Temperaturen selbst genau proportional sind, da die Schmelzbarkeit der Legirungen im allgemeinen nicht die

---

*) Pogg. Ann. Bd. XIV. S. 530.
**) Phil. Mag. New Ser. III. p. 129. Edinb. Journ. of Science N. XVII. p. 168.

mittlere der in sie eingehenden Metalle ist; allein man wird dadurch wenigstens eine genaue Bezeichnung derselben absoluten Temperatur erhalten, indem man jede Temperatur durch die strengflüssigste der Legirungen bezeichnet, welche bei dieser Temperatur noch darin zu schmelzen vermag, was für die praktische Anwendbarkeit hinreicht, und es ist dann noch möglich, durch directe Versuche die Vergleichung dieser Grade mit den auf das Luftthermometer bezogenen wirklichen Temperaturgraden zu finden, wie Prinsep selbst für einige dieser Temperaturen gethan hat. Die Bezeichnungsart, die Prinsep zur Angabe der Grade seiner pyrometrischen Vorrichtung gewählt hat, ist folgende:

S. 0,3 G. bedeutet eine Legirung aus 0,7 Silber, 0,3 Gold;
G. 0,23 P. eine Legirung aus 0,77 Gold und 0,23 Platin u. s. f.

Zur bequemen Anwendung seiner pyrometrischen Vorrichtung hat Prinsep kleine Kapellen, von denen jede in gesonderten Fächern 8 bis 10 auf einander folgende pyrometrische Legirungen blos von der Größe eines Stecknadelkopfes enthält. Diese Kapellen werden der zu bestimmenden Temperatur ausgesetzt, und die schwerflüssigste der Legirungen, die dann schmilzt, dient zur Bezeichnung der Temperatur.

Die Benutzung der Wärmecapacität liegt theoretisch sehr nahe, und bietet sich hierbei zunächst die Benutzung der Eisschmelzmethode mittelst des Calorimeters von Lavoisier dar, indem bekanntlich $T = \frac{79 \,.\, E}{M\,W}$ ist, wenn zum Schmelzen von einem Pfunde Eis von 0° ein Pfund Wasser von 79° C. erforderlich ist, E Pfund Eis von 0° im Calorimeter geschmolzen werden, der Körper von der Temperatur T° selbst M Pfund wog und W die specifische Wärme desselben bedeutet. Ein allgemeines praktisches Verfahren würde dies jedoch nicht abgeben.

Bequemer wäre die Mischungsmethode, die sogar theoretisch auf ein Verfahren führt, bei welchem man weder die Massen der gemischten Körper noch ihre Wärmecapacitäten zu wissen braucht *). Taucht man z. B. eine Masse (Platin) m von der specifischen Wärme w und Temperatur t in eine Wassermasse M von der Temperatur T und erhält dadurch die Mischungstemperatur δ, so ist

$$M\,(\delta - T) = m\,w\,(t - \delta);$$

macht man nun einen vorläufigen Versuch bei anderen Temperaturen, aber denselben Massen, wobei man die Temperatur t′ des in das Wasser getauchten Körpers anderweitig gemessen hat, so erhält man:

$$M\,(\delta' - T') = m\,w\,(t' - \delta')$$

und aus beiden Gleichungen ergiebt sich:

$$\frac{\delta - T}{\delta' - T'} = \frac{t - \delta}{t' - \delta'},$$

woraus dann t bestimmt ist, nämlich:

$$t = \frac{\delta\,(t' - T') - T\,(t' - \delta')}{\delta' - T'}.$$

Das Schwinden, Zusammenziehung bei gesteigerter Wärme, hat Wedg-

*) Pogg. Ann. Bd. XIV. S. 530 und Bd. XXXIX. S. 518.

wood zu einem Pyrometer zu benutzen gesucht und seiner Zeit ein gewisses Aufsehen damit erregt. Deshalb und weil Wedgwood's eigene Versuche ein gewisses Vertrauen verdienen und den von ihm gewonnenen Resultaten ein relativer Werth nicht abgesprochen werden dürfte, möge in dem Folgenden, ungeachtet das Princip sich nicht bewährt hat und das Ganze mithin eigentlich nur historisches Interesse bietet, das Wesentlichste des Verfahrens eine Stelle finden *).

Wenn man Thon schlemmt, gehörig durchknetet und dann bei 100° C. trocknet, so bemerkt man bei vielen Thonsorten, daß das Volumen bei noch höheren Temperaturen sich verkleinert und zwar um so mehr, je höher die Temperatur sich erhebt. Diese Zusammenziehung ist keine vorübergehende Erscheinung, sondern der Thon, welcher sie erlitten hat, ist nicht im Stande in seinen früheren Zustand und zu seinen früheren Ausdehnungen zurückzukehren. Gesetzt nun, man habe eine große Anzahl kleiner Cylinder, welche sämmtlich aus derselben Thonsorte bestehen, alle auf dieselbe Weise hergestellt und allen genau dieselbe Größe und Form gegeben, so ist klar, daß, wenn man jeden von ihnen einer anderen hohen Temperatur aussetzt, sie sich auf verschiedene Weise zusammenziehen werden, und daß man nur nöthig haben wird, diese Cylinder zu messen, um zu erkennen, welcher von ihnen der höchsten und welcher der niedrigsten Temperatur ausgesetzt war. Auf diesem Principe beruhte Wedgwood's Pyrometer.

Wedgwood verfertigte eine große Anzahl solcher Cylinder, legte sie dann noch auf bei Tage rothglühendes Eisen und schliff sie so weit ab, daß ihr Durchmesser 0,5 Zoll betrug. Auf einer massiven Messingplatte von etwas über 12 Zoll Länge, 2,5 Zoll Breite und etwa 2 Linien Dicke wurden zwei Messingleisten von 12 Zoll Länge aufgelöthet, die an dem einen Ende 0,5, an dem anderen 0,3 Zoll von einander abstanden und der Länge nach in 240 gleiche Theile getheilt waren. Die der zu messenden Hitze ausgesetzt gewesenen Cylinder wurden nach dem Erkalten, was selbst durch Eintauchen in Wasser geschehen kann, zwischen die Leisten geschoben, und die Stelle, bis zu welcher dies möglich war, bezeichnete den Hitzegrad. Auf diese Weise sind von Wedgwood die Schmelzpunkte folgender Körper bestimmt:

Messing	21° W.	Gußeisen	130° W.
Kupfer	27 -	Nickel	160 -
Silber	28 -	Platin	170 -
Gold	32 -		

Wedgwood selbst unternahm es, die Grade seines Pyrometers in die gewöhnlichen Thermometerscalen umzusetzen. Sein Verfahren kam auf Folgendes hinaus: Hatte eine Silberstange bei 0° C. eine Länge von 1000''', bei 100° C. von 1002''' und auf bei Tage rothglühendem Eisen von 1011''',61, so ergab sich 580°,5 C. = 464°,4 R. = 1076°,9 F. für die Temperatur des bei Tage rothglühenden Eisens, also für die Temperatur des Wedgwood'schen Nullpunktes. Bringt man nun gleichzeitig einen Thoncylinder und die Silberstange z. B. in geschmolzenes Messing, so erhält man aus der Länge der Silberstange

*) Phil. Transact. T. LXXII. p. 305; T. LXXIV. p. 383; T. LXXVI. p. 390. Eine Beschreibung in Gilb. Ann. Bd. VIII. S. 233 und in Scherer's Journ. für Chemie. Bd. II. S. 50.

die Grade nach Celsius und aus dem Thonwürfel die Grade nach Wedgwood (21) und daraus die Anzahl der Grade nach C., welche 21° W. gleichkommen. Auf eine ähnliche Weise fand Wedgwood, daß sein Nullpunkt = 1077° F. war, und daß für je 1° W. 132° F. zu rechnen seien.

Bei seinen fortgesetzten Versuchen fand Wedgwood selbst Unregelmäßigkeiten im Zusammenziehen der Thoncylinder und wurde an der Zuverlässigkeit seiner Methode zweifelhaft; am stärksten hat aber Guyton de Morveau *) das Vertrauen in dies Pyrometer erschüttert. Nach den Versuchen desselben fällt 0° W. mit 510° F. (517° F.?) zusammen und 1° W. entspricht einer Temperaturzunahme von 61°,2 F. (62°,5 F.?); überhaupt ist das Schwinden des Thones der Wärme nicht proportional, außerdem scheint dasselbe von der Zeit der Einwirkung der Hitze abhängig zu sein und endlich ist es unmöglich, sich stets dieselbe Thonsorte zu verschaffen.

Es bleiben nun noch von den oben aufgestellten Principien übrig: die elektrischen Strömungen und die Ausdehnung der Körper bei gesteigerter Wärme. Wir haben schon oben gesagt, daß man zunächst bei dem letzteren Principe stehen blieb, und da die Erregung der elektrischen Ströme bei eintretenden Temperaturdifferenzen erst 1821 durch Seebeck entdeckt wurde, also der Zeit nach die Benutzung dieses Princips zu thermo- oder pyrometrischen Apparaten später liegt, so wollen wir auch im Folgenden uns an diese Zeitfolge halten.

Bei der Construction von Pyrometern dachte man, da es darauf ankam, einen Stoff zu verwenden, welcher seinen Aggregatzustand nicht so leicht wie Glas ändert, zunächst an die Metalle. Musschenbroek **) bediente sich zuerst einer von ihm Pyrometer genannten Vorrichtung, um zunächst die Ausdehnung von Metallstangen durch die Wärme zu ermitteln. War die Ausdehnung derselben bei verschiedenen Temperaturen gemessen, so konnte man aus derselben dann wieder zurück auf die einer bestimmten Ausdehnung zukommende Temperatur schließen. Musschenbroek brachte die zu messenden Metallstangen in eine mit Wasser gefüllte Cisterne, befestigte das eine Ende und setzte das andere Ende mittelst einer gezahnten Stange mit einem Räderwerke in Verbindung, an welchem ein Zeiger angebracht war. Das Schlottern des Räderwerkes und die Einwirkung der Wärme auf dasselbe gestatten jedoch keine große Genauigkeit bei den Untersuchungen. Einfacher ist das Instrument, dessen sich Brongniart ***) bediente, um in der Porzellanfabrik zu Sevres feste Grenzpunkte für die hohen Temperaturen der Oefen bestimmen zu können. Das eine Ende der Metallstange war gegen einen festen Körper gestemmt, das andere Ende berührte den kürzeren Arm eines Winkelhebels, und an dem längeren Arme konnte man die Längenveränderungen der Metallstange wahrnehmen. Daß der Winkelhebel selbst durch die Hitze afficirt wurde, mußte natürlich die Genauigkeit der Messung der Längenveränderung beeinträchtigen, wiewohl zugestanden werden muß, daß Brongniart zu seinem bestimmten Zwecke in dieser Methode hinreichend genaue Anhaltepunkte gewonnen. Ein allgemein brauchbares Pyrometer war das Instrument aber durchaus nicht

---

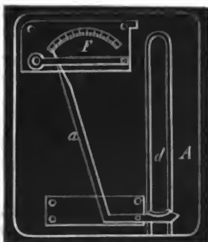
*) Ann. de Chim. T. XLVI. p. 276; besonders LXXIV. p. 47 u. 129; T. LXXVIII. p. 73.

**) Introd. ad Phil. nat. T. II. p. 610.

***) Biot, Experimental-Physik, deutsch von Fechner, 2. Aufl. Bd. I. S. 265.

und so ist es auch mit den übrigen nach gleichem Principe construirten Apparaten, von denen nur historisch die Instrumente von Elliot *), Herbert **), Smeaton ***), Berthoud ****) erwähnt werden mögen; das Instrument von Guyton de Morveau möge indessen hier noch eine nähere Beschreibung finden, da er sich desselben namentlich bei seinen Untersuchungen über Wedgwood's Pyrometer bediente.

Das Pyrometer von Guyton de Morveau besteht aus einer Platte von hart gebranntem Thone A mit einer eingelegten Platinstange d, 45mm lang, 5mm breit und 2mm dick, welche (s. beistehende Figur) mit dem einen abgerundeten Ende gegen den Rand des Falzes oder der Vertiefung gestemmt ist, in welcher sie liegt, mit dem anderen gegen den kürzeren Hebelarm der Platinnadel a drückt, die unten ihren Drehpunkt hat. Der kürzere Arm dieser Nadel ist 2,5mm, der längere 50mm lang, sie stehen also im Verhältnisse von 1 zu 20 und die Ausdehnung der Platinstange wird daher durch die ungleiche Länge der Hebelarme zwanzigfach vermehrt. Auf der Platte F befindet sich eine Scala und die Spitze der Nadel a ist mit einem Nonius versehen, durch welchen Zehntel der Grade abgelesen werden. Wenn man also diese Theile der Grade mit der absoluten Ausdehnung der Stange d vergleicht, so erhält man hierdurch den 200sten Theil derselben und da nach der Bogentheilung in 400 Grade für einen Radius von 50mm ein Grad 0mm,78538 beträgt, wovon 0mm,078538 vermittelst des Nonius abgelesen werden, so beträgt ein solcher Theil gegen die vermittelst des Hebels zwanzigfach vermehrte Länge der Stange d von 45mm Länge $\frac{900}{0,078538} = 11459$ oder den 11459sten Theil des Ganzen.



Damit aber die Nadel beim Herausnehmen des Instrumentes aus dem untersuchten heißen Objecte nicht zurückgeht, sondern auf dem äußersten erreichten Punkte stehen bleibt, wird ihre Spitze durch eine Feder festgehalten. — Ein Hauptbedenken, welches diesem sich sonst sehr empfehlenden Instrumente entgegensteht, ist die Ungewißheit, ob nicht die dem Ganzen zur Basis dienende Thonplatte in der Hitze eine Veränderung erleidet, wodurch natürlich der richtige Gang des Instrumentes eine Störung erfährt; auch dürften der feine Zeiger und die Stifte der Winkelhebel in großer Hitze leicht Biegungen erfahren.

Die Ausdehnung des Platins als Pyrometer zu benutzen hat sich J. F. Daniell *****) besonders angelegen sein lassen; da er jedoch in seinem sogenannten Registerpyrometer oder registrirenden Pyrometer ein Rohr aus

*) Philos. Transact. T. XXXIX. p. 297.

**) Dissertatio de Igne. Viennae 1773.

***) Phil. Transact. T. XLVIII. p. 598.

****) Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. I. S. 564.

*****) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 577, Anmerkung. Phil. Transact. 1830 u. 31. Phil. Mag. Ser. II. Vol. X. p. 191, 268, 350 und ebenda Ser. III. 1832. Vol. I. p. 197; vergl. auch Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. VII. S. 988 ff.

feuerfestem Thon und Graphit verwendete und die Veränderungen, welche dies durch die Hitze möglicher Weise erleidet, unbekannt sind, auch die ungleiche Beschaffenheit des Gemisches aus Graphit und Thon (Reißblei) in Betracht zu ziehen ist, so darf man jedenfalls an der Zuverlässigkeit des Apparates zweifeln, wenngleich der Vorzug anzuerkennen ist, daß der Meßapparat der Hitze nicht ausgesetzt ist.

Ein Vorschlag von A. Naumann *), bei welchem ebenfalls Platin zur Anwendung kommt, ist ganz verfehlt, weil er in einer Platinspirale besteht, die für sich allein einen Zeiger bewegen soll, wie dies die aus verschiedenen Metallen zusammengesetzten Spiralen der Metallthermometer thun müssen.

Als ein Pyrometer, welches zwischen 0° und 100° C. ausnehmend genaue Resultate giebt und bis 800° C. sicher gebraucht werden kann, vielleicht zwischen — 20° C. und + 2000° C. anwendbar ist, empfiehlt Muncke **) folgendes Instrument von Petersen. Es besteht aus einem hohlen, ungefähr 4 Fuß langen Parallelepipedon von Schmiedeeisen A B (s. nebensteh. Figur), wovon die äußeren Seiten des Querschnitts etwa 1 und 0,5 Zoll betragen. Ueber dem Boden dieser Hülle befindet sich eine, mit zwei starken Schrauben befestigte Platte, die zugleich durch die letzteren regulirt werden kann. In ihrer Mitte ist ein nur wenig Zoll langer Cylinder von Platin festgelöthet, dessen anderes Ende vermittelst vier Schrauben unverrückbar mit einer eisernen Stange verbunden ist, die von d bis zur Vorrichtung e des Zeigers reicht. Daselbst wird das Ende der beiden Streben $\beta\beta'$ durch eine unter dem Rande liegende starke Feder o p stets angedrückt und in unverrückter Lage erhalten. Am Ende der Eisenstange ist eine feine Stahlfeder angebracht und um denjenigen Stift geschlungen, an welchem der Zeiger festsitzt. An demselben Stifte ist ein zweiter Metalldraht befestigt, welcher durch eine an der Seite angebrachte Feder n stets gestrafft wird und daher den Zeiger zurückzieht, so daß dieser, nach entgegengesetzten Seiten hin mit großer Kraft gezogen und mit seinem Nonius auf der Scala durch dichtes Aufliegen sich reibend, selbst bei starken Erschütterungen nicht schlottert. Wird das untere Ende der zu messenden Hitze ausgesetzt, die allezeit auf die ganze Länge der eben aus dieser Ursache so kurzen Platinstange wirken kann, so dehnt sich sowohl diese, als auch das Eisen der Hülle aus; die gleichzeitigen unbestimmbaren, nach der Länge des der Hitze ausgesetzten Theils verschiedenen Ausdehnungen der inneren Eisenstange und der äußeren Hülle sind als einander gleich ohne Einfluß und es wird letztere deswegen an ihrem oberen Theile bis ungefähr zur Mitte ihrer ganzen



*) Baumgartner u. v. Ettinghausen Zeitschr. Bd. X. S. 284.
**) Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. VII. S. 994.

Länge mit Eggen (Randstreifen) von Tuch, als einem schlechten Wärmeleiter, umgeben, damit sie nicht merklich schneller als der innere Cylinder erkalte. Weil sich aber die Platinstange weniger als das Eisen ausdehnt, wobei sich von selbst versteht, daß beide Metalle nach der Bearbeitung nochmals ausgeglüht werden, um ihre künftige Ausdehnung zu einer stets regelmäßigen zu machen, so bleibt die Länge des inneren Cylinders gegen die der Hülle bei wachsenden Temperaturen zurück und diese Differenz wird durch den Zeiger angegeben. Die mit unbewaffneten Augen zwar genügend sichtbare, mit der Loupe aber schärfer abzulesende Scala ist von 20° zu 20° C. getheilt, der Nonius giebt 2° C. unmittelbar, durch Schätzung aber 0°,5 C. mit genügender Schärfe; die Empfindlichkeit des Apparates ist so groß, daß die Unterschiede der Temperaturen in verschiedenen Zimmern nach etwa 2 bis höchstens 5 Minuten genau zum Vorschein kommen, bei wiederholten Versuchen zwischen 10° und 100° C. erreichten aber die Fehler für jeden Beobachter nie völlig 0°,5 C. Eben diese Empfindlichkeit muß auch bis zu den höchsten erreichbaren Hitzegraden fortdauern, die so weit gesteigert werden können, bis die Form der Metalle sich ändert oder ihre Verbindungen eine Zerstörung erleiden.

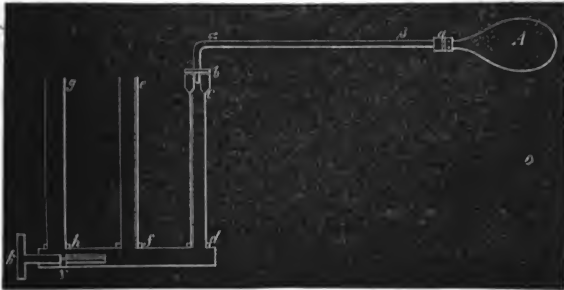
Außer der Volumenveränderung fester Körper hat man auch mehrseitig die Volumenveränderung der Luft zu pyrometrischen Apparaten in Vorschlag gebracht. Dies ist z. B. geschehen von J. G. Schmidt *), Mill **); am zweckmäßigsten ist diese Idee von Pouillet ausgeführt ***). Das Luftpyrometer desselben besteht 1) aus einem eiförmigen Platingefäße aus einem Stücke; 2) einer Verbindungsröhre von 1 bis 2 Millimeter innerem Durchmesser, die in einer Länge von wenigstens 20 bis 25 Centimetern von Platin sein muß, in der zweiten eben so großen Hälfte aber aus Silber bestehen kann; 3) aus einer getheilten Glasröhre, bestimmt, mit ihrem oberen Ende die Luft aufzunehmen, welche durch Erhitzung aus dem Platingefäß getrieben wird. Diese Röhre ist einer Barometerröhre ähnlich, und steht neben einer zweiten solchen Röhre, die oben offen ist; unten stehen beide stets in Gemeinschaft. Zu Anfange des Versuchs sind beide ganz mit Quecksilber gefüllt und mittelst einer besonderen Vorrichtung hält man die beiden Quecksilbersäulen beständig in gleichem Niveau, so daß man in jedem Augenblicke den Druck der in dem Apparate hermetisch eingeschlossenen Luft oder Gasart erfährt. Umstehende Figur wird die Zusammenstellung noch deutlicher machen. A ist das Platingefäß, in der großen Axe etwa 40, in der kleinen Axe etwa 25 bis 30 Millimeter groß; $\alpha\beta$ ist die Verbindungsröhre; cd ist die graduirte Glasröhre, an welcher bei b die Verbindungsröhre luftdicht befestigt ist; fe ist die zweite graduirte Glasröhre, welche mit der ersten unteren communicirt. Diese beiden Röhren stehen mit der dritten gh so auf einer Bodenplatte, daß sie in den drei Spitzen eines gleichschenkeligen Dreiecks stehen, und sind zugleich von einem gläsernen Cylinder umgeben, welcher zur Erhaltung einer gleichmäßigen Temperatur mit Wasser von unveränderter Wärme gefüllt ist. Die oben erwähnte besondere Vorrichtung besteht darin, daß die dritte Röhre gh, welche wie jede der anderen etwa 40 bis 50 Centimeter lang ist, mit der zweiten unteren durch

*) Nicholson's Journ. 1805

**) Wiener Zeitschr. Bd II. S. 75, aus Ann. de l'Industrie nat. et étrang. No. 77.

***) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 567, nach Compt. rend. 1836. T. II. p. 782.

einen horizontalen Kanal communicirt. Dieser Kanal enthält, von seinem Ende her eingesteckt, einen Hahn k, der von seinem vorderen Ende an längs der Axe bis zur Mitte und von da zur Seite ausgehend durchbohrt ist. Wenn diese Seitenöffnung nach oben gekehrt ist, gestattet der Hahn eine Gemeinschaft der Röhre g h



mit e f und c d; wird sie horizontal gedreht, so ist diese Gemeinschaft unterbrochen, und ist sie endlich senkrecht herabgedreht, so tritt sie vor ein Loch γ in dem horizontalen Kanale, welches diesen nach außen öffnet. Will man nun das Niveau des Quecksilbers in e f erhöhen, so giebt man dem Hahne die erste Stellung; es fließt dann Quecksilber aus g h nach e f. Will man dagegen das Niveau in e f erniedrigen, so bringt man den Hahn in die dritte Stellung; es fließt dann Quecksilber aus dem horizontalen Kanale, welcher e f und g h verbindet, ab. Mittelst dieser Vorrichtung können also die beiden Quecksilbersäulen in c d und e f in gleiches Niveau gebracht werden. Die Gewißheit von dem gleichen Niveaustande erhält man durch ein Fernrohr, dessen genau horizontal ausgespannter Faden dann beide Quecksilberkuppen berühren muß. Um die ungleiche Capillarität der Quecksilbersäulen zu vermeiden, müssen die beiden Röhren c d und e f von gleichem Caliber sein. Es ergiebt sich hiernach leicht, auf welche Weise pyrometrische Messungen mit diesem Apparate angestellt werden. Sind alle drei Röhren bis zu einer gewissen Höhe, in der Regel bis zum Anfange der Scala, mit Quecksilber gefüllt, die eine g h höher als die beiden anderen, ist der Hahn so gestellt, daß kein Quecksilber weder aus der letzteren, noch aus dem ganzen Apparate abfließt, und hat man den umschließenden Glascylinder mit Wasser von der Temperatur der Atmosphäre gefüllt, so wird das Quecksilber in den beiden graduirten Röhren gleich hoch stehen. Alsdann steckt man das Platinrohr mit der Platinkugel auf und beobachtet, ob der Stand des Quecksilbers in der Röhre c d keine Aenderung, etwa in Folge einiger Erwärmung durch die Hand oder durch eine sonstige Ursache, erlitten hat. Ist dieses nicht der Fall oder hat man das Gleichgewicht in beiden Röhren durch das Zulassen oder Ablassen von einigem Quecksilber wieder hergestellt, so wird die hohle Birne der zu messenden Hitze ausgesetzt, deren Stärke der Ausdehnung der Luft direct proportional ist. Die ausgedehnte Luft drückt demnach auf das Quecksilber in der Röhre c d, macht dasselbe sinken und dagegen

in ef steigen, worauf man so lange Quecksilber durch den geöffneten Hahn ausfließen läßt, bis die Höhe desselben in beiden Röhren gleich ist und die Raumvermehrung in cd den höchsten erreichten Hitzegrad nach den vorausgegangenen Bestimmungen des Werths der Scalentheile angiebt. Wenn demnächst der birnförmige Körper aus dem Feuer genommen und zur anfänglichen Temperatur wieder herabgebracht ist, vorausgesetzt, daß der Barometerstand während des Versuches keine Veränderung erlitten habe, so zieht sich die in cd eingeschlossene Luft wieder in den abgekühlten Raum zurück, das Quecksilber steigt in dieser Röhre, man läßt aus gh neues zufließen, bis es in beiden graduirten Röhren gleich hoch steht, und ist dieser Stand wieder der anfängliche, so gewährt dieses eine Controle des ganzen Versuches.

Zur Berechnung der Resultate dienen folgende Formeln:

$$c + z = \frac{p'n' - pn}{p - p'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$V = \frac{p}{760} \cdot \frac{c + z + n'}{1 + at} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

$$n = \frac{760\,V}{p} - (c + z) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

$$N = \frac{N' - zat}{1 + at} - n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$V = \frac{p}{760}\left[\frac{N' + z}{1 + at} + \frac{c(1 + l'x)}{1 + ax}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

$$x = \frac{N}{c(a - l') - aN} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

$$N' = \left[\frac{cx(a - l')}{1 + ax} + \frac{760\,V}{p} - (c + z)\right](1 + at) + zat \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Mittelst der Formel (1) wird der Werth $c + z$ des Rauminhalts von dem Gefäße und der Verbindungsröhre geprüft, wenn man, nachdem der Apparat in allen seinen Theilen eine constante Temperatur angenommen hat, die in demselben enthaltene Luft unter zwei verschiedene Drucke p und p' versetzt, und dabei die in der getheilten Röhre befindliche Anzahl n und n' Cubikcentimeter Luft beobachtet; c ist der Rauminhalt des Platingefäßes, welches der zu messenden Hitze ausgesetzt wird, und z ist der Rauminhalt der Verbindungsröhre bis zum Nullpunkte der getheilten Röhre.

Durch die Formel (2) bestimmt man das Volumen V, welches die Luft im Apparate bei der Temperatur 0° unter dem Drucke 760 Millimeter einnehmen würde; man erhält es durch eine einzige Beobachtung, wenn diese die Temperatur t der umgebenden Luft, den Druck p und die Anzahl n' der unter diesen Umständen in dem Rohre enthaltenen Cubikcentimeter Luft giebt; a ist der Ausdehnungscoefficient der Luft.

Die Formel (3) giebt die Anzahl n von Cubikcentimetern Luft, welche in der getheilten Röhre enthalten sein würde, wenn der ganze Apparat die Temperatur 0° besäße und unter dem Drucke p stände.

Die Formel (4) dient zur Auffindung von N oder dem Volumen, welches,

reducirt auf 0° und den Druck p, aus dem Platingefäße in die getheilte Röhre übergeht, wenn das Gefäß auf die unbekannte Temperatur x gebracht wird. Der Werth von N hängt ab von z und n, welche bekannt sind, von der umgebenden Temperatur t, welche man beobachtet, und von der Anzahl N' von Cubikcentimetern, die wirklich von der Luft in der getheilten Röhre eingenommen werden.

Die Formel (5) dient zur Auffindung des durch die Formel (2) gegebenen Volumen V, aber unter anderen Umständen, d. h. für den Fall, daß das Platingefäß die Temperatur x besitzt, und wenn, unter dem Drucke p, in der getheilten Röhre, deren Temperatur t ist, N' Cubikcentimeter Luft beobachtet sind; hierbei ist l' der Ausdehnungscoefficient des Platins.

Die Formel (6) giebt die Temperatur x des Platingefäßes.

Mittelst der Formel (7) kann man im Voraus berechnen, welche Anzahl N' von Cubikcentimetern man, unter dem Drucke p und bei der Temperatur t, in der getheilten Röhre haben muß, wenn das Platingefäß auf eine Temperatur x gebracht worden ist.

Mittelst dieses Apparates hat man die Temperatur der verschiedenen Farben beim Glühen nach Hunderten von Graden in folgender Weise bestimmt:

Anfangendes Roth . . .	525° C.	Dunkles Orange . . .	1100° C.
Dunkles Roth	700 „	Helles Orange . . .	1200 „
Anfangendes Kirschroth .	800 „	Weiß	1300 „
Kirschroth	900 „	Helles Weiß	1400 „
Helles Kirschroth . . .	1000 „	Blendendes Weiß	1500 bis 1600 „

Pouillet hat dies Pyrometer sogar mit Erfolg zur Bestimmung sehr niedriger Temperaturen, bis — 80° C., benutzt, so daß dasselbe den Namen eines Universalthermometers verdient. Der Apparat ist zwar geeignet genaue Resultate zu liefern, aber sein Gebrauch erfordert viel Zeit und Mühe, und bei längerer Dauer des Versuchs verliert derselbe auch dadurch an Zuverlässigkeit, daß der Barometerstand eine Aenderung erlitten haben kann. Auch das Pyrometer von Petersen, welches Muncke *) beschreibt, ist für länger dauernde Versuche nicht geeignet. Es genüge daher die Angabe, daß derselbe aus einem kleinen Hohlgefäße von Platin die Luft durch die Hitze austreibt, dann dasselbe in Wasser abkühlt und aus dem Gewichte des eingedrungenen Wassers die Ausdehnung der Luft berechnet, welche stattgefunden hatte, und somit auf die Temperatur schließt, welcher das Hohlgefäß ausgesetzt gewesen war.

Das Princip der elektrischen Strömungen, welches nun noch übrig ist, und welches bekanntlich Melloni in seinem Thermomultiplicator so ausgezeichnet verwendet hat, hat Pouillet benutzt und in seinem magnetischen Pyrometer zur Ausführung gebracht **). Man denke sich die Schwanzschraube eines Flintenlaufes genommen, daran den Schraubengang auf eine gewisse Strecke 2 Millimeter tief und 1 Millimeter breit ausgegraben, so daß derselbe vollkommen glänzend und rein sei, darin einen Platindraht von einem Millimeter Dicke eingelegt und um den Grath des Schraubenganges mit einem

*) A. a. O. S 1004.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 574.

Hammer plattgeschlagen, so daß der Platindraht, welcher drei oder vier Umgänge macht, vollständig bedeckt sei und sein Ende sich gänzlich in der Eisenmasse verliere. Hierauf stecke man den Platindraht in den Lauf, längs der Axe desselben, schraube die Schwanzschraube wieder in das Ende des Laufs, und schweiße sie im Essenfeuer mit diesem innig zusammen. Alsdann fülle man den Lauf mit Magnesia oder Asbest, damit der Draht gehalten werde und den Lauf nicht berühre. Alles dies thue man mit dem anderen Ende des Laufes, nur durchbohre man die zweite Schwanzschraube ihrer Länge nach, damit der erste Platindraht hindurchgehe, ohne sie zu berühren. Auf diese Weise hat man einen Metallbogen, bestehend aus dem Flintenlauf und zwei Platindrähten, wobei die beiden Schwanzschrauben die zwei Lötbstellen der Kette abgeben. Erhitzt man nun die erste Löthstelle, welche allein für das Feuer bestimmt und mit einem Gemenge aus feuerfesten Erden bekleidet ist, so erhält man einen thermoelektrischen Strom, dessen Intensität nach einem gewissen Gesetze von der Temperatur abhängt, welcher das Ende des Flintenlaufes ausgesetzt ist. Dieser Strom geht in einen Multiplicator, gebildet aus 25 bis 30 Windungen eines Kupferstreifens von 9 bis 12 Millimetern Breite und 0,5 Millim. Dicke. Eine gewöhnliche Boussole, im Innern dieses Multiplicators auf einem Hütchen schwebend, empfindet die Wirkung des Stromes, und erleidet dadurch eine von dessen Intensität bedingte Ablenkung Der Multiplicator ist um die Axe des Hütchens der Nadel beweglich gemacht, und man dreht ihn in dem Maße, als er die Nadel ablenkt, so daß seine Einwirkung auf diese immer senkrecht gegen seine Länge bleibt (Sinusboussole). Wenn man nun durch 1000000 die Intensität der Kraft bezeichnet, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zu drehen trachtet, sobald sie senkrecht auf diesem Meridian steht, so ist die Intensität des Stromes durch 1000000 sin z ausgedrückt, wo z den Winkel bedeutet, welchen die Nadel, sobald sie in der Verticalebene des Multiplicators zur Ruhe gekommen ist, mit dem magnetischen Meridiane bildet. Diese Ablenkung wird mit einem Fernrohre beobachtet, welches der Multiplicator in seiner Bewegung mit fortführt. Die den Ablenkungen entsprechenden Temperaturen bestimmt man durch correspondirende Beobachtungen mittelst des Luftpyrometers. Pouillet fand folgende Scala.

Ablenkung z	Entsprechende Temperaturdifferenz der Löthstellen, deren eine = 15° oder 20° C. war. t	Ablenkung z	Entsprechende Temperaturdifferenz der Löthstellen, deren eine = 15° oder 20° C. war. t
5° 27′	100°	25° 36′	600°
7 55	150	28 19	650
10 16	200	31 52	700
12 26	250	35 48	750
14 25	300	40 41	800
16 23	350	46 13	850
18 11	400	52 50	900
20 00	450	60 50	950
21 51	500	72 00	1000
23 28	550		

Das **magnetische Pyrometer** ist ein wirklich praktisches Instrument und besitzt, wie die Tabelle zeigt, eine mit steigender Temperatur sogar zunehmende Empfindlichkeit. Wenn es nach dem Luftpyrometer graduirt ist, kann es die Temperatur eines Essenfeuers mit großer Genauigkeit angeben, vorausgesetzt, daß diese Temperatur etwas unter dem Schmelzpunkte des Eisens liege. **Pouillet** giebt folgende Schmelztemperaturen an:

Silber	1000° C.
Gold.	1200 "
Weißes Gußeisen, sehr schmelzbar .	1050 "
" " , wenig schmelzbar .	1100 "
Graues Gußeisen, sehr schmelzbar. .	1100 "
" " , wenig schmelzbar, etwa	1200 "
Stahl, der leichtest schmelzbare, etwa	1300 "
" , der schwerst schmelzbare, etwa	1400 "
Eisen	1500 bis 1600 "

H. E.

Pyrophor (Luftzünder) nennt man eine Substanz, die sich von selbst an der Luft entzündet. Diese Eigenschaft hängt ab von der Verwandtschaft zum Sauerstoff und diese wird wiederum bedingt von dem Zustande, in welchem die Substanzen dem Sauerstoff dargeboten werden. Sind sie sehr fein zertheilt oder von sehr poröser Beschaffenheit, so findet eine so energische Absorption von Luft und Feuchtigkeit statt, daß in Folge der dabei freiwerdenden Wärme eine Feuererscheinung auftritt.

Zuerst sprach **Boyle** 1680 von einem Körper, der sich von freien Stücken an der Luft entzünde; er machte ihn jedoch nicht namhaft. Ein Jahr später entdeckte **Homberg** den ersten Pyrophor, als er aus Menschenkoth ein weißes gewöhnliches Oel darstellen wollte, das die Eigenschaft besitzen sollte, Quecksilber in das feinste Silber zu verwandeln. Er versuchte die verschiedensten Wege, um die Aufgabe zu lösen, und destillirte unter anderen auch die Excremente mit Alaun. Hierbei beobachtete er, daß, sobald er nach beendeter Arbeit die Vorlage abnahm, der Rückstand in der Retorte sich entzündete. Diese Entdeckung erregte Aufsehen und die Erklärung dieser merkwürdigen Thatsache beschäftigte die Chemiker in früherer Zeit sehr *). **Lemery** zeigte später, daß der Alaun jedes Mal pyrophorisch werde, sobald er mit irgend einer brennbaren organischen Substanz geglüht würde. Der Alaunpyrophor ist demnach ein Gemisch von Schwefelkalium, Kohle und Thonerde. Das erstere bedingt die Entzündung des Gemisches, da es durch die beigemischte Kohle und Thonerde äußerst fein zertheilt ist und in Folge dessen dem Sauerstoff der Luft eine sehr große Oberfläche darbietet.

Im Laufe der Zeit hat man verschiedene andere Pyrophore dargestellt. Schwefelsaures Kali giebt einen solchen, wenn es mit Mehl oder Ruß geglüht wird; eben so Bleisuperoxyd (2 Th.) oder Mennige (2 Th.) mit Zucker (1 Th.); Brechweinstein (40 Th.) mit Kienruß (1 Th.). Nach **Goebel** zeigt sich weinsaures Bleioxyd nach dem Glühen pyrophorisch; nach **Böttger** **) eine ganze Reihe von citronensauren, gallussauren, traubensauren und weinsteinsauren Salzen. Man

*) **Kopp**, Geschichte der Chemie. Bd. IV. S. 61.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. VIII. S. 477.

muß bei der Anfertigung der verschiedenen Pyrophore hauptsächlich auf den gehörigen Hitzegrad achten. Man muß zwar anhaltend, aber nicht zu stark glühen, denn sonst sintert die Masse zusammen und verliert die Porosität, so daß sie sich nicht beim Zutritt der Luft entzündet.

Außerdem sind noch verschiedene andere Substanzen als Pyrophore anzusehen; z. B. Phosphor, fein gepulverte Kohle, Kohlenkalium (eine schwarze Substanz, die man bei der Darstellung des Kalium erhält), Stickstoffkalium, Wasserstoffkalium, Stickstoffnatrium, Schwefellithium, Zirkonium, Kohleneisen ($Fe\,C^2$, durch Glühen von Ammoniumeisencyanür dargestellt), Phosphorwasserstoffgas, Kakodyl und Kakodyloxyd. Ferner einige Oxydule (Mangan-Uranoxydul) und Metalle (Eisen, Kobalt ꝛc.) im höchst fein zertheilten Zustande, wie man sie oft bei der Reduction durch Wasserstoffgas erhält. W. B.

Quadrant heißt in der Geometrie der vierte Theil eines Kreises, den man durch zwei sich rechtwinklig schneidende Durchmesser erhält, und der mithin, da der ganze Kreis in 360 Grade getheilt wird, deren 90 umfaßt.

Quadrant bedeutet ferner in der mathematischen Geographie den vierten Theil des Meridiankreises irgend eines Beobachtungsortes auf der Erde, wie denn z. B. ein Meter der zehnmillionste Theil des durch Paris gehenden nördlichen Meridianalquadranten ist.

Eben so versteht man in der Astronomie unter einem Quadranten den vierten Theil eines jeden Meridiankreises an der Himmelskugel.

Endlich nennt man Quadrant ein veraltetes Instrument, welches zur Beobachtung der Höhen der Gestirne diente *). Es besteht aus einem Gradbogen, welcher gleich dem vierten Theile eines Kreises ist, und um dessen Mittelpunkt sich ein an einer Alhidade befestigtes Fernrohr oder Diopter bewegt. Man unterschied feste und tragbare Quadranten. An einer verticalen Wand in der Ebene des Meridians befestigt, hieß das Instrument Mauerquadrant. Jetzt bedient man sich dieser Instrumente gar nicht mehr, da man statt der Mauerquadranten die Meridiankreise (s. Art. Passageninstrument) und statt der tragbaren die Höhenkreise und Azimuthalkreise gebraucht.

Der Mauerquadrant (s. umstehende Figur) besteht aus mehreren starken und unter einander fest verbundenen Stangen und einem ähnlichen Kreisbogen A B von Metall. Dort wo diese Stangen an einander gefügt sind, in den Punkten m m m, ist das ganze Instrument durch starke Schrauben, die eine genaue Einstellung der Fläche des Quadranten in die Ebene des Meridians gestatten, an eine in der Ebene des Meridians errichtete Mauer befestigt. Der obere Radius A C des Quadranten ist genau horizontal, der andere C B genau vertical. Um sich von dem Letzteren zu überzeugen, hängt bei C ein Bleiloth, welches unten bei B stets über demselben Punkte stehen muß. Ist eine Aenderung eingetreten, so muß mittelst der Schrauben m m ... das Instrument erst wieder eingestellt werden.

*) Vergl. Hevelii machina coelestis.

Der Faden des Lothes wird durch ein ihn umgebendes Gehäuse gegen Luftzug geschützt, und das Gewicht B taucht überdies in ein Gefäß mit Flüssigkeit (Wasser), um das Schwanken zu verringern. Um das Centrum O des Quadranten, dessen Halbmesser 5 bis 8 Fuß betrug, bewegt sich das Fernrohr DE, dessen Ocularende an dem Bogen des Quadranten liegt. Die durch ein Fadenkreuz markirte Axe des Fernrohres muß genau im Radius des Quadranten liegen, also durch das Centrum O gehen. Bei dem Ocularende ist das Fernrohr mittelst einer Schraube cd und einer doppelten Metallplatte b mit dem Rande des Instrumentes in Verbindung. Diese Platte umfaßt, in Gestalt einer Gabel, den Kreisbogen und die beiden Theile derselben können durch eine eigene Schraube einander genähert werden, so daß dann das Fernrohr mit dem Kreisbogen AB fest verbunden ist. Läßt man hingegen die Schraube nach, so läßt sich das Fernrohr frei um das Centrum O drehen und auf einem beliebigen Punkt des Quadranten stellen, bei welchem man dann dasselbe durch die Schraube b befestigt. Mittelst der Schraube cd lassen sich dann noch kleine Verrückungen des Fernrohres hervorbringen, so daß eine ganz genaue Einstellung erzielt wird. Auf der Platte b ist nach der Eintheilung des Quadranten hin bei a ein Vernier angebracht. Es ist dies eine bekannte Einrichtung und findet sich z. B. bei den Sextanten, die heutzutage noch zu den wichtigsten Meßinstrumenten gehören. Namentlich Ramsden hat ausgezeichnete Mauerquadranten angefertigt.

Bei den **tragbaren** Quadranten ist in der Verlängerung des verticalen Radius eine cylindrische Axe angebracht, welche in einer Cylinderröhre steckt und sich in dieser drehen läßt. Die Cylinderröhre steht auf einer Säule mit drei Schraubenfüßen, durch welche derselben eine genaue verticale Stellung gegeben werden kann. An dem die Drehungsaxe haltenden Theile ist öfter noch ein eingetheilter horizontalliegender Kreis (**Azimuthalkreis**) angebracht, um die Lage der Verticalebene des Quadranten ermitteln zu können. Um das Instrument genau einzustellen, ruht auf dem horizontalen Radius des Quadranten eine Libelle, deren Blase bei stattfindender Drehung des Quadranten dieselbe Lage beibehalten muß. Ueberdies bringt man noch an der Drehungsaxe ein Loth an, welches durch die Cylinderröhre herabhängt, um es gegen Luftzug zu schützen, und dessen richtige Lage vier Mikroskope anzeigen. Dergleichen bewegliche Quadranten hat namentlich **Dollond** ausgeführt.

Noch andere tragbare Quadranten waren auf einem Gestelle befestigt, welches, wie bei Meßtischen, eine sogenannte Nuß trug, auf deren Zapfen das Instrument aufgesteckt wurde. Auf diese Weise konnte man dem Quadranten irgend eine beliebige, auch gegen den Horizont geneigte, Lage geben und darin befestigen. Man benutzte diese Instrumente z. B., um die Distanz eines Planeten von einem Fixsterne zu bestimmen, dessen Ort am Himmel bereits bekannt war. Der Quadrant wurde in eine Lage gebracht, daß beide Sterne in der Ebene des Quadranten lagen. Nun befanden sich an dem Instrumente **zwei** Fernröhre: ein um das Centrum des Quadranten drehbares, und ein in der Richtung des Radius, von welchem die Theilung des Bogens ausgeht, festliegendes. Der eine Stern wurde nun durch das feste Fernrohr gesehen, und dann das bewegliche Rohr so lange gedreht, bis durch dasselbe der zweite Stern erschien. Durch die Stellung beider Fernrohre gegen einander fand man die Distanz der beiden Sterne.

Da man gewöhnlich nur mit kleinen Distanzen zu thun hat, so kommt selten ein Bogen von 90° zur Anwendung; man hatte daher auch Instrumente, welche nur 60° (**Sextanten**), oder nur 45° (**Octanten**) hielten. Daß namentlich die letztere Methode sehr genaue Resultate nicht geben werde, liegt auf der Hand. Zur Beobachtung der Culminationszeiten bedient man sich jetzt des Passageninstrumentes, welchem ein besonderer Artikel dieses Werkes gewidmet ist, und im Verein mit einem Meridiankreise bietet ein solches auch zur Bestimmung der Rectascension die größte Genauigkeit.

Auf einigen Sternwarten befinden sich jetzt noch ganze **Mauerkreise**, namentlich in England. Im Jahre 1812 verfertigte **Troughton** den ersten. Um von einem solchen eine Anschauung zu geben, nehmen wir eine Abbildung des **Gambey**'schen der Pariser Sternwarte auf, wie solche in **Arago**'s Astronomie, deutsch von **Hankel**, Bd. I. S. 221 geliefert ist.

O ist das Ocular und L das Objectiv des Fernrohres, das sich gemeinschaftlich mit dem Mauerkreise dreht, von dem es ein Durchmesser ist. Die Drehung des Kreises um seinen Mittelpunkt erhält man mittelst der mit Sammet überzogenen Handgriffe b an den verschiedenen Radien, wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, und darauf die feine, langsame Bewegung durch Nußschrauben c. Der Kreis ist am Rande getheilt, und die Winkel, um welche man ihn dreht, kann man vermittelst sechs Mikroskope a ablesen. Um den Kreis leichter gehen

zu lassen und die Lager zu unterstützen, hat man glatte Unterlagen angebracht, die an Armen befestigt sind; letztere werden durch Gegengewichte heraufgezogen und heben dadurch einen Theil des Gewichtes vom Kreise und Fernrohre auf.

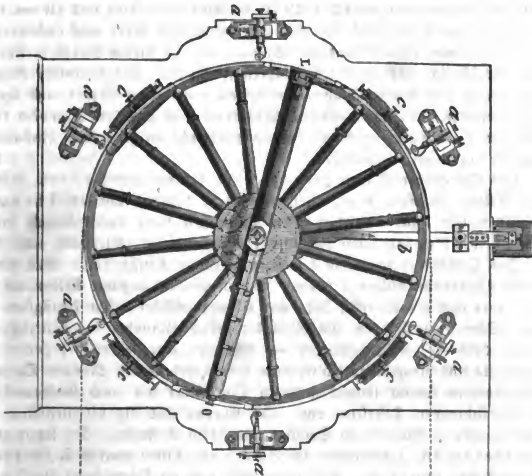


Fig. I. — Mauerkreis der Pariser Sternwarte von der Seite gesehen.

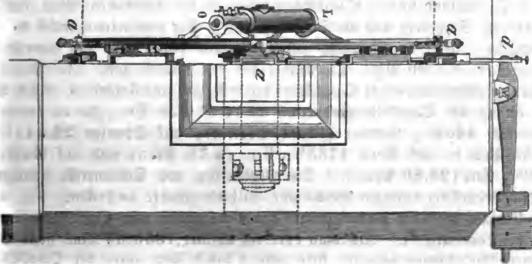


Fig. II. — Mauerkreis der Pariser Sternwarte von vorn gesehen.

Die horizontale Axe dieses Kreises dreht sich auf zwei im Innern einer Mauer oder eines Pfeilers befindlichen Lagern und muß genau von Ost nach West gerichtet sein. Ueber die Rectification eines solchen Instrumentes vergleiche Passageninstrument. H. C.

Quadrantenelektrometer, s. Elektrometer.

Quadratur, s. Aspecten und Mond.

Quecksilber (Mercurius, Hydrargyrum, Argentum vivum), ein Metall und zwar das einzige, welches bei gewöhnlicher Temperatur flüssig ist. Chem. Zeichen: Hg. Chem. Aequivalent = 1251,29 (O = 100) oder 100,103 (H = 1).

Der Name ist abgeleitet von dem niedersächsischen Wort quick (lebendig, lebhaft) und bedeutet daher lebendiges Silber, weil es diesem Metall in Farbe und Glanz sehr ähnlich, aber nicht fest, sondern flüssig ist. Der lateinische Name Hydrargyrum ist nach dem griechischen ὑδράργυρος (von ὕδωρ, Wasser, und ἄργυρος, Silber) gebildet. Hiermit bezeichnet Plinius das aus dem Zinnober künstlich dargestellte Quecksilber, während er das natürliche im gediegenen Zustande vorkommende argentum vivum nennt.

Das Quecksilber ist zwar schon den Alten bekannt gewesen, doch später als Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei oder Eisen. Zuerst führt es Theophrast (um 300 v. Chr.) an. Bei den alten Alchemisten stand dieses Metall in einem hohen Ansehen; es galt lange Zeit als ein Bestandtheil (Element) aller Körper.

Das Quecksilber kommt in der Natur weniger häufig vor. Man findet es gediegen (Jungferquecksilber), seltener noch in Verbindung mit Silber als Amalgam, ferner noch als Selen-, Jod- und Chlorquecksilber. Am häufigsten kommt es mit Schwefel verbunden als Zinnober (edler Zinnober — blättrig, fasrig, dicht und derb —, Kohlenzinnober — Lebererz, Korallenerz —) vor. China, Südamerika und neuerdings Californien liefern bedeutende Mengen Quecksilber. In Californien kommt sowohl gediegen Quecksilber wie auch Goldamalgam in allen goldführenden Distrikten vor. In Europa sind die bedeutendsten Quecksilberbergwerke zu Almaden in Spanien und Idria in Krain. Die letzteren Werke waren schon im 16. Jahrhundert im Gange; von 1660 wurden sie für das Haus Oesterreich sehr einträglich. Sie liefern noch jetzt im Durchschnitt jährlich 2000 bis 3000 Ctr. Quecksilber. Die Erze und Schläge, welche dort verarbeitet werden, enthalten durchschnittlich im Ctr. 1 Pfd. 18 Loth Quecksilber. Außerdem sind in Deutschland noch 3 Quecksilbergruben in der bayerischen Pfalz im Gange (Landsberg, Stahlberg und am Dreikönigszuge). Sie producirten 1853 8472 Ctr. Quecksilber. 1851 hat man auch auf Corsika ein reiches Lager von reinem Zinnober entdeckt, der 80 Proc. Quecksilber bei der Analyse gab. Zu Altwasser in Ungarn gewinnt man etwas Quecksilber durch Reißen aus Fahlerzen. Nach Whitney betrug die Quecksilberproduction 1854 37.028 Ctr., davon kommen auf Oesterreich $4408\frac{1}{3}$ Centner (11,91 Procent), auf Spanien $22{,}041\frac{2}{3}$ Ctr. (59,53 Proc.), auf Peru $1763\frac{1}{4}$ Ctr. (4,76 Proc.) und auf Nordamerika $8816\frac{2}{3}$ Ctr. (23,80 Proc.). Die Production von Südamerika genügt nicht, um den Bedarf der dortigen Gold- und Silberbergwerke zu decken.

Einiges Aufsehen machte jüngst das Vorkommen von Quecksilber im Diluvium bei Lüneburg *). Als man dort im Winter 1853/54 eine neue Einfahrt zu einer Mergelgrube anlegte, stieß man 5 bis 6 Fuß unter der Oberfläche auf eine sandige Lehmschicht, die so reichlich mit Quecksilber durchdrungen war, daß man aus einem kleinen Sack voll jenes Sandes $\frac{3}{4}$ Pfd. Quecksilber auswusch. Das Quecksilber fand sich in Kügelchen bis Erbsengröße und noch als Hornqueck-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXII. S. 6.

silber in Verästelungen. Nach neueren Untersuchungen *) hat sich jedoch herausgestellt, daß das Quecksilberlager nur eine Ausdehnung von 9 Quadratfuß hatte. Im Ganzen wurden daraus 20 bis 25 Pfund Quecksilber gewonnen.

Im Großen gewinnt man das Quecksilber aus den Erzen durch Destillation mit Kalk und Hammerschlag, wobei man irdene oder gußeiserne Retorten anwendet, deren Hals unter Wasser mündet. Der Schwefel und zum Theil auch das Chlor gehen mit dem Kalk (Schwefelcalcium, Chlorcalcium) und Eisen (Schwefeleisen) Verbindungen ein; zum Theil bildet sich aus dem Schwefel auch schweflige Säure. Ferner röstet man die Erze auch in eigenen Oefen bei Zutritt der Luft und leitet die Dämpfe mittelst eines Kanals durch verschiedene Kammern, in denen sich das Quecksilber verdichtet und ansammelt. Dann wird das Quecksilber durch Zwillich gepreßt, um es von Unreinigkeiten zu befreien.

Das Quecksilber des Handels ist ziemlich rein. Durch den Gebrauch aber nimmt es verschiedene Unreinigkeiten in sich auf; auch absorbirt es namentlich im Sommer Sauerstoff aus der Luft, wodurch die Oberfläche erblindet und mit einer grauen Haut überzogen wird. Unreines Quecksilber erkennt man sehr leicht daran, daß es an Glas und Porzellan anhaftet. Läßt man es langsam über eine glatte Fläche rollen, so zertheilt es sich nicht in runde Kugeln, sondern in längliche Tropfen, die an der Oberfläche gefurcht erscheinen und eine graue Haut hinter sich zurücklassen. Man sagt in diesem Fall: das Quecksilber zieht einen Schweif. Um ein solches Quecksilber zu reinigen, erwärmt man es mit Salpetersäure, die mit der doppelten Menge Wasser verdünnt worden ist, bis auf 50 oder 60° C. Nach einer Einwirkung von 24 Stunden, die durch öfteres Umrühren der Masse unterstützt worden ist, wäscht man das Quecksilber mit Wasser aus und trocknet es mit Fließpapier ab. Oder man schüttelt das Quecksilber einige Tage lang mit Schwefelsäure, welche um so concentrirter angewendet werden muß, je mehr Unreinigkeit in dem Quecksilber enthalten ist. Gute Dienste leistet auch Eisenchloridlösung von 1,48 spec. Gewicht. Man nimmt davon auf 20 Quecksilber 1 Loth, das man 10 Minuten lang darauf einwirken läßt.

Ganz reines Quecksilber erhält man durch Destillation aus dem Quecksilberoxyd, das sich in der Hitze zerlegt; oder aus künstlichem Zinnober oder Quecksilbersublimat, die mit dem gleichen Gewicht Kalk oder Eisenfeile gemischt werden.

Bei einer Temperatur unter — 40° wird das Quecksilber fest und ähnelt dann sehr dem Silber; es läßt sich durch den Hammer ausschlagen. In den kälteren Gegenden unserer Erde herrscht im Winter oft eine solche Temperatur, bei der das Quecksilber gefriert. Wir können dasselbe leicht durch künstliche Mittel herbeiführen; durch eine Mischung von Schnee und krystallisirtem Chlorcalcium oder am sichersten durch eine solche von fester Kohlensäure und Aether. Nach Bussy gelingt es auch, wenn man Quecksilber mit flüssiger schwefliger Säure übergießt und diese unter der Luftpumpe verdunsten läßt. Hierbei erstarrten 15 bis 20 Grm. Quecksilber in 4 bis 5 Minuten. Man erhält hierbei oft glänzende und scharf ausgeprägte regelmäßige Octaëder. Das gefrorne Quecksilber bringt auf der Haut eine ähnliche Empfindung hervor wie heißes Eisen.

Spec. Gewicht bei 0° 13,596 oder in der Nähe des Gefrierpunktes 14,4. Das Quecksilber ist ein guter Wärmeleiter und dehnt sich bis zu seinem Siede-

*) N. Jahrb. f. Mineralogie. 1854. Heft. 5.

punkte, der bei 346 bis 360° C. liegt, fast gleichmäßig bei jedem Grad um $^1/_{5506}$ aus, weshalb man es auch zu Thermometern verwendet. Die Dichtigkeit des Quecksilberdampfes ist = 6,976. Nach Oersted ist die Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers nicht viel größer als ein Milliontheil seines Volumens beim Drucke einer Atmosphäre, nach Grassi 0,00000295. Faraday hat nachgewiesen, daß das Quecksilber schon bei + 10 C. verdampft. Man kann sich davon sehr leicht überzeugen, wenn man mit dem Kork ein Goldblättchen in einer Flasche befestigt, auf deren Boden sich Quecksilber befindet. Nach einiger Zeit bemerkt man auf dem Goldblättchen weiße Flecke, die von dem verdampften Quecksilber herrühren. Noch empfindlicher soll nach Brame sehr fein zertheilter Schwefel sein. Darauf beruht ja auch die Anwendung des Quecksilbers in der Daguerreotypie. Die Dampfatmosphäre, mit der sich das Quecksilber umgiebt, hat jedoch sehr enge Grenzen, die von der Temperatur abhängen. Während bei + 11,5° der Dampf noch 5,6 Fuß über dem Quecksilber nachgewiesen werden konnte, gelang dies bei 0° nicht mehr in einer Höhe von $^3/_4$ Zoll.

Nach Wiggers ist das Quecksilber etwas in kochendem Wasser löslich. Durch anhaltendes Schütteln mit Wasser, Aether oder Terpentinöl oder durch Reiben mit Schwefel, Schwefelantimon, Zucker, Fett ꝛc. wird das Quecksilber so fein zertheilt, daß es als schwarzgraues Pulver erscheint. Diese Operation nennt man das Tödten oder die Extinction des Quecksilbers; sie kommt bei der Darstellung verschiedener pharmaceutischer Präparate zur Anwendung. Die einzelnen Quecksilberkügelchen werden hier durch die Zwischenlagerung der fremden Substanzen von einander getrennt und laufen bei deren Entfernung wieder zusammen.

Das Quecksilber vermag das Wasser bei keiner Temperatur zu zersetzen. Mit dem Sauerstoff verbindet sich das Quecksilber direct, namentlich bei höherer Temperatur, zu Oxyd; eben so mit Schwefel, Chlor, Brom, Jod und Phosphor. Mit den Metallen bildet es die Amalgame. Das Quecksilber durchdringt viele Metalle; diese sind dann leicht zerbrechlich. Stellt man einen heberförmig gebogenen Metallstab in Quecksilber, so steigt es in diesem auf und fließt oben aus. Durch concentrirte Salzsäure und verdünnte Schwefelsäure wird das Quecksilber gar nicht angegriffen; concentrirte Schwefelsäure verwandelt es leicht beim Kochen zu schwefelsaurem Quecksilberoxyd, wobei sich schweflige Säure entwickelt. Bei Anwendung von wenig Schwefelsäure oder einer geringeren Hitze erhält man ein Oxydulsalz. Salpetersäure greift das Quecksilber schon in der Kälte an und man erhält je nach den Umständen neutrales oder basisches salpetersaures Quecksilberoxydul oder salpetersaures Quecksilberoxyd. Königswasser liefert Chlorid und salpetersaures Oxyd.

Das Quecksilber ist ein sehr wichtiges Arzeneimittel. Theils kommt das Quecksilber selbst in Salben und Pflastern zur Anwendung, theils in verschiedenen Präparaten (Verbindungen desselben mit anderen Elementen oder Salzen). Nach Bärensprung*) vermag das regulinische Quecksilber nicht die thierische Membran zu durchdringen. Bei der Bereitung der Salbe bildet sich eine geringe Menge von schwarzem Quecksilberoxydul, das er als den allein wirksamen Bestandtheil der grauen Salbe ansieht. Seiner Ansicht nach wäre es besser, die Salbe aus reinem

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. L. S. 21.

Oxydul zu bereiten, da man bei der jetzt gebräuchlichen Methode ein ungleich wirkendes Präparat erhält, denn je nach Alter und Bereitungsart enthält die graue Salbe verschiedene Mengen von Quecksilberoxydul. Obgleich man schon zur Zeit des Plinius sich der Quecksilberpräparate in der Heilkunst bediente, so wandte man sie doch bis zum 16. Jahrhundert meistens nur äußerlich an. Erst durch Paracelsus kamen sie häufiger zu innerlichen Kuren in Anwendung. In der Chemie wendet man das Quecksilber häufig an beim Auffangen von Gasen, die vom Wasser absorbirt werden. In der Technik benutzt man das Quecksilber häufig; besonders bei der Fabrikation der Thermometer und Barometer, bei der Belegung der Spiegel, bei der Feuervergoldung und besonders beim Ausbringen des Goldes und Silbers. (Vergl. den Art. Amalgamation, Bd. I. S. 142.) Leider aber übt das Quecksilber einen sehr nachtheiligen Einfluß aus auf die Gesundheit der Arbeiter, die häufig den Quecksilberdämpfen ausgesetzt sind. Sie bekommen ein Zittern am ganzen Körper und einen beständigen Speichelfluß; oft tritt auch der Tod ein. Aber auch ohne diesen ist das Loos eines von dieser Krankheit ergriffenen Arbeiters ein sehr trauriges, da es ihn zur ferneren Arbeit unbrauchbar macht. Schon bei alten medicinischen Schriftstellern finden wir erschütternde Beschreibungen von den Folgen dieser gräßlichen Krankheit. Durch die Einführung der galvanischen Vergoldung ist zum Glück die Zahl dieser Unglücklichen bedeutend beschränkt worden. — Man hat das Quecksilber auch empfohlen, um unedle Metalle gegen Rost zu schützen. Man legt das Metall in eine Auflösung von Quecksilberchlorid oder Oxydsalzen in Wasser oder Salzsäure, bis sich die Oberfläche vollkommen mit Quecksilber überzogen hat. Solche Metalle werden zur Dachbedeckung, zu Telegraphendrähten und zum Schiffbau empfohlen.

Von den Verbindungen des Quecksilbers mit dem Sauerstoff kennt man zwei: das Oxydul (Hg^2O) und das Oxyd (HgO).

Das Quecksilberoxydul, oder auch schwarzes Quecksilberoxyd genannt, wurde 1797 von Moscati entdeckt. Man erhält es durch Fällen einer Lösung des salpetersauren Salzes mit der Lösung eines fixen Alkalis. Oder man übergießt in Wasser fein vertheiltes Chlorür mit Kalilauge. Um eine Zersetzung zu vermeiden, wäscht man den Niederschlag bei Ausschluß des Lichtes aus. Dessenungeachtet zerlegt es sich hierbei doch in Oxyd und Metall. Dasselbe geschieht durch das Licht, durch Reiben und mäßige Wärme bis 100° C.; bei höherer Temperatur zerfällt es in Quecksilber und Sauerstoff.

Es bildet ein schwarzes Pulver, besitzt keinen Geruch und Geschmack; specifisches Gewicht 10,69. Durch phosphorige Säure und Phosphorwasserstoffgas wird das Quecksilberoxydul reducirt; eben so durch Erhitzen mit Kalium und Natrium. Kocht man das Oxydul mit Jodkaliumlösung, so scheidet sich Quecksilber aus und es bildet sich Quecksilberjodid oder beim Ueberschuß von Oxydul auch Quecksilberjodür.

Mit den meisten Säuren bildet das Quecksilberoxydul wohl bestimmte Salze, und zwar neutrale und basische. Die ersteren sind meistens ungefärbt, die letzteren in der Regel gelb. Während die basischen Salze in Wasser unlöslich sind, lösen sich die anderen darin auf; einige zersetzen sich dabei jedoch in basische Salze, die unlöslich sind, und saure Salze, die in Lösung gehen. Andere werden durch Kochen mit Wasser in Metall und Oxyd zerlegt. Die in Wasser unlöslichen Salze lösen sich meistens in verdünnter Salpetersäure. Die neutralen Quecksilber-

oxydulsalze röthen Lackmuspapier und schmecken metallisch; sie wirken nicht sehr heftig auf den thierischen Organismus. In der Hitze sind die Oxydulsalze unter Zersetzung flüchtig. Im Allgemeinen stellt man sie dar durch Auflösen in Säuren oder durch Zersetzung.

Zu erwähnen sind das salpetersaure Quecksilberoxydul. Uebergießt man Quecksilber mit einem Ueberschuß von verdünnter Salpetersäure und wendet man beim Auflösen keine Wärme an, so erhält man die neutrale Verbindung ($Hg^2 O. NO^5 + 2 HO$) in großen farblosen Krystallen, die scharf metallisch, aber nicht ätzend schmecken. Sie färben die Haut roth und verpuffen auf glühenden Kohlen. In wenig Wasser sind sie löslich; durch viel Wasser werden sie zersetzt, es scheidet sich ein basisches Salz aus, das sich wieder auflöst, sobald man Salpetersäure hinzusetzt. — Wendet man dagegen beim Auflösen, das gleichfalls in der Kälte vor sich geht, einen Ueberschuß von Quecksilber an, so erhält man die basische Verbindung ($3 Hg^2 O. 2 NO^5 + 3 HO$), gleichfalls in großen Krystallen. Behandelt man diese, wie auch die neutrale Verbindung mit heißem Wasser, so scheidet sich ein zweibasisches Salz ($2 Hg^2 O. NO^5$) aus, das beim Kochen mit Wasser eine grüne Farbe annimmt, und dann scheint es noch mehr von der Base zu enthalten.

Die beiden salpetersauren Salze lassen sich sehr leicht von einander unterscheiden. Behandelt man sie mit einer Lösung von Kochsalz, so verwandelt sich das neutrale Salz in Chlorür von weißer Farbe, während bei dem basischen Salz eine graue Farbe auftritt, weil sich hier gleichzeitig auch Quecksilberoxydul bildet.

Tropft man nach und nach eine verdünnte Lösung von kaustischem Ammoniak in eine gleichfalls verdünnte Lösung des neutralen Salzes, so erhält man nicht Oxydul, sondern einen grauen Niederschlag, der unter dem Namen Mercurius solubilis Hahnemanni bekannt ist. Seine Formel giebt man als ($NH^3 + 3 Hg^2 O$). NO^5 oder auch als $3 Hg^2 O + NH^4 O. NO^5$. Sie ist aber sehr verschieden, je nach der Concentration der Lösungen und der Temperatur, bei der die Fällung stattfindet.

Das schwefelsaure Quecksilberoxydul ist schwer löslich in Wasser (in 500 Th. kaltem und 300 Th. kochendem). Deshalb fällt es als ein weißes krystallinisches Pulver nieder, wenn man Schwefelsäure in eine Auflösung des salpetersauren Salzes tröpfelt. Man erhält es gleichfalls, wenn man concentrirte Schwefelsäure mit einem Ueberschuß von Quecksilber erwärmt, doch ist es sehr schwer, die Bildung von schwefelsaurem Quecksilberoxyd zu verhüten.

Das Quecksilberoxyd ($Hg O$), gemeinhin rothes Quecksilberoxyd (Hydrargyrum oxydatum rubrum, Mercurius praecipitatus ruber) genannt, war schon im 8. Jahrhundert bekannt. Früher stellte man es durch Erhitzen von Quecksilber in einem leicht bedeckten Kolben dar. Da hierzu aber längere Zeit erforderlich ist, so zersetzt man gewöhnlich salpetersaures Quecksilberoxydul oder Oxyd in mäßiger Wärme. Je nach der Verbindung, die man angewendet hat, ist das äußere Ansehen des Präparats etwas verschieden. Das Oxyd liefert ein krystallinisches, ziegelrothes, das Oxydul ein mehr orangefarbenes Präparat. Mit Hülfe der salpetersauren Salze kann man auch leicht ein gleiches Gewicht Quecksilber oxydiren, das mit jenen, unter Befeuchten mit Wasser, bis zur Extraction zusammengerieben und dann langsam erhitzt wird. Man stellt das Quecksilberoxyd auch auf nassem Wege dar, indem man zu einer Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd Aetzkali

oder Aetzkalk setzt. Der Niederschlag hat eine gelbe Farbe und ist eine isomere Modification des rothen Oxydes. Beide unterscheiden sich auch durch einige Reactionen. Das gelbe Oxyd, sobald es nicht erhitzt worden ist, wird leichter vom Chlorgas angegriffen und verbindet sich schon in der Kälte mit Oxalsäure, die auf das rothe Oxyd nicht wirkt.

Specifisches Gewicht 11,074. Es besitzt einen widrig metallischen Geschmack und wirkt sehr giftig. An der Luft und namentlich beim Erwärmen schwärzt es sich vorübergehend; beim Glühen verflüchtigt es sich, indem es in Sauerstoff und Quecksilber zerfällt; das letztere oxydirt sich hierbei aber wiederum theilweise. Durch Phosphor, Schwefel, Kalium, Natrium, Zinnfeile und Antimonpulver wird das Oxyd unter Verpuffen zersetzt. Durch phosphorige Säure, schweflige Säure und Zinnchlorür wird es zu Metall reducirt, durch Eisenoxydulsalze und Zuckerlösung, so wie durch andere organische Substanzen zu Oxydul. Durch die Metalloide wird das Oxyd gleichfalls leicht zerlegt. In Wasser ist es nicht ganz unlöslich; damit gekocht schmeckt das Wasser stark metallisch und grünt Veilchensyrup.

Mit den Säuren bildet das Quecksilberoxyd neutrale und basische Salze; erstere sind in der Regel farblos, letztere gelb, zum Theil aber auch farblos. Durch Wasser, namentlich durch heißes, werden sie in der Art zersetzt, daß sich Oxyd, in der Regel jedoch als basisches Salz, abscheidet und freie Säure mit mehr oder weniger von dem Oxydsalze in die Lösung geht. Ein Zusatz von freier Säure bewirkt die Lösung des Abgeschiedenen oder verhindert die Abscheidung. Die in Wasser unlöslichen Salze sind fast alle in Säuren löslich. — Die Quecksilberoxydsalze wirken heftig giftig und besitzen einen unangenehmen metallischen Geschmack; die neutralen röthen Lackmuspapier.

Durch das Verhalten zu verschiedenen Reagentien lassen sich die Oxydsalze sehr leicht von den Oxydulsalzen unterscheiden. Diese Reagentien sind:

	in Oxydulsalzen	in Oxydsalzen
Ammoniak	grauschwarzer	weißer Niederschlag.
Aetzkali	schwarzer	gelbrother Niederschlag
Jodkalium	grüngelber	zinnoberrother Niederschlag.
kohlensaure Alkalien	weißer Niederschlag, der beim Erhitzen schwarz wird	gelbrother Niederschlag.
Salzsäure *)	weißer	kein Niederschlag.
Schwefelwasserstoff	sofort ein schwarzer Niederschlag	weißer, gelber oder gelbrother Niederschlag, der erst durch größere Mengen des Fällungsmittels schwarz wird.

Salpetersaures Quecksilberoxyd. Löst man Quecksilber unter Anwendung von Wärme in einem Ueberschuß von Salpetersäure, so erhält man beim Abdampfen nicht das neutrale, sondern ein basisches Salz ($2 HgO . NO^5 + 2 HO$) in Krystallen.

*) Die Salzsäure dient also vorzugsweise dazu, um zu erkennen, ob neben Quecksilberoxydsalzen auch Oxydulsalze zugegen sind. Nachdem der Niederschlag abfiltrirt worden, prüft man die Flüssigkeit mit Aetzkali oder Jodkalium.

Das erstere bleibt in der Mutterlauge; doch erhält man durch Fällen mit Alkohol wiederum basisches Salz. Durch große Mengen von Wasser wird das basische Salz zersetzt; der weiße Niederschlag besitzt die Formel 3 HgO. $NO^5 + 3$ HO. Er löst sich nur schwer in Salpeter- und Schwefelsäure, durch Kochen mit Wasser aber erhält man ein gelbes Salz (6 Hg O. NO^5). Setzt man das Kochen lange Zeit fort, so erhält man zuletzt Quecksilberoxyd. Kocht man eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd mit metallischem Quecksilber, so erhält man das Oxydulsalz (Hg^2O. NO^5).

Neutrales salpetersaures Quecksilberoxyd schießt in Krystallen an, wenn man die Lösung von Quecksilber in einem Ueberschuß von Salpetersäure bis zur Syrupsdicke eindampft und dann mit einer Kältemischung umgiebt.

Schwefelsaures Quecksilberoxyd erhält man als weißes krystallinisches Pulver (Hg O. SO^3), wenn man Quecksilber unter Anwendung von Wärme in einem Ueberschuß von concentrirter Schwefelsäure auflöst und bis zur Trockne abdampft, denn sonst ist das Oxydsalz mit Oxydulsalz gemischt. Dieses Salz wird im Großen dargestellt, da es zur Bereitung des Quecksilbersublimats benutzt wird. Durch viel Wasser erhält man ein gelbes basisches Salz (Turpethum sulphuricum, 3 Hg O. SO^3). Das saure Salz kann durch Abdampfen der Lösung krystallisirt werden. Das basische Salz wird wiederum durch Wasser zersetzt, bis es endlich in Quecksilberoxyd verwandelt wird.

Von den Verbindungen des Quecksilberoxydes mit organischen Säuren führen wir nur das knallsaure Quecksilberoxyd (Howard's Knallquecksilber, 2 Hg O. $C^4N^2O^2$) *) an. Nach Liebig löst man 1 Th. Quecksilber in 12 Th. Salpetersäure von 1,36 spec. Gewicht auf und setzt nach und nach 11 Th. Alkohol von 80 bis 85 Proc. hinzu. Man erwärmt dann das Ganze im Wasserbade und bald tritt eine sehr lebhafte Einwirkung hervor, wobei sich reichlich röthliche Dämpfe entwickeln. Die Flüssigkeit färbt sich gelb und setzt dann beim Erkalten weiße Krystalle ab, die mit kaltem Wasser gewaschen werden. Um sie von dem ausgeschiedenen metallischen Quecksilber zu reinigen, löst man sie in kochendem Wasser, aus welchem sie sich beim Erkalten wieder ausscheiden.

Dieses Präparat wird zu den bekannten Zündhütchen benutzt, doch fordert seine Darstellung im Großen große Vorsicht. Es ist eines der gefährlichsten Präparate, die man kennt. Sobald es trocken ist, explodirt es bei der geringsten Reibung mit fürchterlicher Gewalt. Hermann erzählt hiervon einen erschütternden Vorfall **). Ein Chemiker in der bekannten Fabrik zu Schönebeck kam auf den für ihn so unglücklichen Gedanken, den Arbeitern vor Augen zu führen, daß sie mit dem Papier, auf welchem Knallquecksilber getrocknet worden sei, nicht sorglos umgehen dürften. Um den Arbeitern die Explosion anschaulich zu machen, suchte er von solchen Papieren etwas von den darauf zurückgebliebenen Knallquecksilberresten durch Reiben loszumachen. Hierbei trat eine Entzündung ein — und die linke Hand des unglücklichen jungen Mannes wurde dadurch buchstäblich in unzählige Stücke zerschmettert, während die rechte nur leicht verbrannt und durch die umhergeschleuderten Knochensplitter leicht verwundet war. Diese Zerstümmelung

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCV. S. 282. Bullet. de St. Petersb. Class. phys. math. T. XIV. p. 98.

**) Schweigger's Journ. Bd. XLIII. S. 121.

ging mit einer solchen Schnelligkeit vor sich, daß der Unglückliche kein Gefühl davon hatte, sondern nur erst durch den Augenschein von diesem schrecklichen Ereigniß belehrt wurde. Auf Hermann machte dieser traurige Fall einen solchen Eindruck, daß er fortan weder Knallquecksilber noch ein anderes Knallpräparat in seiner Fabrik anfertigen ließ. Die Zündhütchenfabrik in der Ebene von Ivry bei Paris wurde gleichfalls durch eine Explosion gänzlich zerstört. Deshalb sah sich die französische Regierung veranlaßt, besondere Vorschriften für die Fabrikation dieses gefährlichen Präparates zu geben *).

Seit Anfang der zwanziger Jahre bediente man sich namentlich in England eines durch Schlag zu entzündenden Pulvers beim Abfeuern der Jagdflinten. Dieses Pulver bestand aus einem Gemenge von chlorsaurem Kali mit Schwefel und Kohle oder mit Salpeter, Schwefel und Lycopodium. Um es gegen die Nässe zu schützen, umhüllte man zuerst kleine Kügelchen davon mit Wachs. Bald aber beschwerten sich die Jagdfreunde über dieses Zündpulver, da der Lauf und das Zündloch sehr schnell oxydirt wurden und nach dem Abfeuern ein nicht unbedeutender Schmutz zurückblieb. Deshalb schlug Wright das Knallquecksilber zum Gebrauch vor **). Die große Wichtigkeit dieses Vorschlages erregte die Aufmerksamkeit der Regierungen im hohen Grade und so entstanden sehr bald die bekannten Zündhütchen.

Bei der Anfertigung des Knallquecksilbers zu diesem Zweck gießt man nach Beendigung der Einwirkung die Flüssigkeit von den Krystallen ab, bringt letztere in leinenen Filtern auf gläserne Trichter, läßt sie hier abtropfen, wäscht mit kaltem Wasser aus und läßt das Wasser bis auf ungefähr 20 Proc. verdunsten. Man mischt die Masse dann innig mit $^{2}/_{3}$ Salpeter auf einer Steinplatte mittelst hölzerner Reiber und körnt sie noch feucht. Diese Körnchen bringt man dann in die kupfernen Kapseln und läßt sie hier trocken werden. Um die explodirende Masse vor Feuchtigkeit zu schützen, überzieht man sie mit einer dünnen Schicht von Firniß. 1 Pfund Quecksilber liefert $1^{1}/_{4}$ Pfund Knallquecksilber und dies reicht aus, um 20,000 Zündhütchen für Militairgewehre zu füllen.

Quecksilberoxyd-Ammoniak (Thénard's Knallquecksilber). Behandelt man Quecksilberoxyd mit einem Ueberschuß von Aetzammoniak, so verändert sich die Farbe desselben in gelb. Hierbei muß aber der Zutritt der Luft abgeschlossen werden, denn sonst tritt Kohlensäure in die Verbindung ein. Man nimmt daher die Operation in einer vollständig gefüllten und gut verstopften Flasche vor. Das gelbe Oxyd verändert sich leicht, bei dem rothen geht die Verwandelung hingegen nur sehr langsam vor sich. Trocknet man das Quecksilberoxyd-Ammoniak unter der Luftpumpe über Kalk, so besitzt es die Formel $3\,HgO.\;HgNH^2 + 3\,HO$. Nach längerer Zeit geht alles Wasser unter der Luftpumpe fort und dann ist die Farbe dunkelbraun. Leichter geht das Wasser bei einer Wärme von 130° C. fort, ohne daß eine Zersetzung stattfindet.

Das Hydrat ist unlöslich in Wasser und Alkohol. Es zieht aber sehr leicht die Kohlensäure aus der Luft an und verändert dabei die Farbe in weiß. Die wasserfreie Verbindung dagegen erhält sich unverändert an der Luft. Durch Aetzkali

*) Ann. d. Pharm. Bd. XXIII. S. 137.
**) Gilbert's Ann. 1824. St. 1. S. 75.

wird sie nur beim Schmelzen zersetzt, während das Hydrat schon beim Kochen mit Kali Ammoniak entwickelt, aber doch erst nach längerem Kochen vollständig zerlegt wird.

Das Quecksilberoxyd-Ammoniak hat alle Eigenschaften einer kräftigen Base. Man nennt es deshalb auch Mercuramin. Es verbindet sich in bestimmten Verhältnissen mit den Säuren zu Salzen, von denen man bereits eine ganze Reihe dargestellt hat. Durch die kaustischen Alkalien wird es zwar aus diesen Verbindungen ausgetrieben, ohne daß es jedoch bei gewöhnlicher Temperatur eine Zersetzung erleidet. Seinerseits treibt das Quecksilberoxyd-Ammoniak das Ammoniak aus seinen Salzen eben so kräftig aus, wie Kali und Kalk. Durch heiße Lösungen von salpetersaurem Ammoniak und Chlorammonium wird es jedoch zerlegt.

Leitet man dagegen nach Plantamour *) trocknes Ammoniakgas in der Kälte über gelbes Quecksilberoxyd, so lange noch eine Absorption stattfindet, und erhitzt man dann, während der Strom von Ammoniakgas andauert, bis auf 150° C., so lange sich noch Wasser bildet, so erhält man ein Gemisch von Quecksilberoxydul mit Stickstoffquecksilber ($Hg^3 N$). Das erstere kann durch verdünnte Salpetersäure entfernt werden und dann bleibt ein braunes Pulver, das heftig explodirt, aber minder gefährlich ist, da die Explosion erst bei höherer Temperatur oder unter einem starken Druck erfolgt. Concentrirte Schwefelsäure bewirkt jedoch eine heftige Explosion. Durch Auflösung in Säuren erhält man eine Mischung von Quecksilber- und Ammoniaksalzen.

Die Verbindungen des Quecksilbers mit Schwefel, Chlor, Brom, Jod und Fluor entsprechen den Sauerstoffverbindungen.

Leitet man Schwefelwasserstoff in die Auflösung eines Quecksilberoxydulsalzes, so bildet sich ein schwarzer Niederschlag (Quecksilbersulfuret, Halbschwefelquecksilber $Hg^2 S$), der beim Erhitzen, selbst mit Wasser, in metallisches Quecksilber und in die höhere Schwefelungsstufe $Hg S$ zerfällt. Letztere, das Quecksilbersulfid oder einfach Schwefelquecksilber, erhält man auf gleiche Weise aus Quecksilberoxydsalzlösungen, doch muß hier das Schwefelwasserstoffgas längere Zeit einwirken. In der ersten Zeit ist der Niederschlag weiß und besteht aus einer Verbindung von Schwefelquecksilber (2 Aeq.) mit dem in der Lösung befindlichen Quecksilbersalz (1 Aeq.). Diese Schwefelverbindung ist amorph und schwarz. Man erhält es auch durch Erhitzen von 6 Th. Quecksilber mit 1 Th. Schwefel oder durch anhaltendes Zusammenreiben beider. Der officinelle Mineralmohr (Aethiops mineralis) wird auf letztere Art bereitet; es ist ein inniges Gemenge von amorphem Schwefelquecksilber mit Schwefel.

Im krystallisirten Zustande besitzt das Schwefelquecksilber eine rothe Farbe. Es kommt zwar in der Natur als Zinnober vor, doch wird die unter diesem Namen bekannte Farbe meistens künstlich dargestellt. In Idria schüttet man zu diesem Ende 42 Pfd. Quecksilber mit 8 Pfd. Schwefel in ein kleines Faß. Dieses wird durch ein Mühlwerk um seine Axe gedreht und dadurch ein inniges Gemisch beider Substanzen erzielt. Die Masse sublimirt man in großen gußeisernen Kolben, die mit einem irdenen Helm und Vorlage versehen sind. Der beste Zinnober setzt sich im Helme ab, der aus der Vorlage wird noch einmal sublimirt. Auf diese Weise erhält man compacte dunkelrothe, strahlig-krystallinische Massen. Die schöne rothe

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XL. S. 115.

Farbe ist jedoch nur dem Zinnober im höchst fein zertheilten Zustande eigen, deshalb werden die Massen zerkleinert und mit Wasser zwischen Mühlsteinen fein gemahlen. Je länger man das Mahlen andauern läßt, je feiner zertheilt also der Zinnober ist, eine um so hellere und schönere Farbe besitzt er. Dann übergießt man den Brei zuerst mit kaltem, hierauf mit heißem Wasser und trocknet ihn endlich bei gelinder Wärme. — 1852 wurden in Idria 1092,88 Ctr. Quecksilber (43,47 Proc. der Gesammtausbeute) zu Zinnober verarbeitet.

Die Schönheit der Farbe hängt indessen nicht allein von dem Grade der Zertheilung ab, sondern auch von der Beschaffenheit der Materialien, der Bereitungsweise und besonders wohl von der Behandlung mit verschiedenen Agentien. So schrieb man früher die große Schönheit des chinesischen Zinnobers einem Gehalte von Schwefelantimon zu, das man jedoch darin nicht auffinden konnte. Nach Wehrle erhält man einen völlig antimonfreien Zinnober, der dem chinesischen an Farbe und Feuer nicht nachsteht, wenn man den gewöhnlichen Zinnober mit 1 Proc. Schwefelantimon sublimirt, die feingeriebene Masse wiederholt mit Schwefelleber kocht und dann nach dem Auswaschen mit Chlorwasserstoffsäure digerirt. Gleichfalls wird die Schönheit der Farbe wesentlich erhöht, wenn man den feingemahlenen Zinnober längere Zeit mit Wasser oder sehr verdünnter Salpetersäure übergossen an einem dunkeln Orte stehen läßt.

Auf nassem Wege erlangt man eine weit schönere Farbe. Diesen Zinnober nennt man Vermillon. Den schönsten erhält man durch die Einwirkung der höheren Schwefelungsstufen der Alkalien auf das amorphe Schwefelquecksilber. Man reibt 300 Th. Quecksilber mit 114 Th. Schwefel in einem Mörser innig zusammen und setzt dann 75 Th. Aetzkali und 400 Th. Wasser hinzu. Dann erwärmt man nach und nach bis auf 45° C. und erhält diese Temperatur einige Zeit lang möglichst gleichmäßig. Die schwarze Farbe verändert sich sehr bald in roth. Hat man den gewünschten Farbenton erlangt, so wäscht man die Masse rasch mit heißem Wasser aus. Läßt man die Einwirkung der Schwefelalkalien bei dieser Temperatur zu lange andauern, so nimmt die Farbe einen mehr braunen Ton an. Diesen Nachtheil vermeidet man bei der von Martius angegebenen Methode. Man übergießt in einem Glase ein Gemenge von 1 Th. Schwefelblumen und 7 Th. Quecksilber mit 2 bis 3 Th. einer concentrirten Schwefelleberlösung, verstopft das Glas, packt es in Sägespäne und befestigt es an den oberen Balken einer Säge in einer Schneidemühle. Nach 2 bis 3 Tagen hat man einen sehr schönen Zinnober. Einen solchen von carminrother Farbe erhält man nach Liebig, wenn man frisch gefällten weißen Präcipitat ($Hg . Cl + Hg . NH^2$) mit Schwefelammonium, das vorher noch mit Schwefel gesättigt worden ist, bei 40 bis 50° C., digerirt. Das Präparat gewinnt noch an Feuer, wenn man es nachher gelinde mit concentrirter Kalilauge digerirt.

Da der Zinnober in bedeutenden Mengen verbraucht wird, so ist er mancherlei Verfälschungen durch Ziegelmehl, Eisenoxyd, Mennige, Chromroth und Drachenblut unterworfen. Es ist jedoch sehr leicht, sich von seiner Reinheit zu überzeugen. Der reine Zinnober verflüchtigt sich beim Erhitzen vollständig, ohne dabei einen brenzlichen Geruch zu verbreiten; bleibt ein Rückstand, so war er verfälscht. Reiner Zinnober nimmt ferner beim Uebergießen mit Salpetersäure keine braune Farbe an. — Man hat beobachtet, daß, wenn man Zinnober mit Kupfer oder Messing in Berührung bringt, sich Schwefelkupfer bildet und die Farbe des

Zinnobers in ein dunkles Braun übergeht. Deshalb konnte der Zinnober zum Kupferdruck oder beim Malen mit Messingschablonen nicht angewendet werden. Nach Untersuchungen von Karmarsch *) rührt diese Einwirkung aber nicht vom Zinnober selbst, sondern von einer Verunreinigung mit überflüssigem Schwefel oder irgend einer fremden Schwefelverbindung her. Kocht man daher den Zinnober vor dem Gebrauch mit einer Auflösung von kohlensaurem Kali und wäscht ihn dann sorgfältig mit Wasser aus, so verändert sich die Farbe des Zinnobers unter den angegebenen Umständen nicht, weil er jetzt auf Kupfer oder Messing nicht mehr einwirkt.

Der natürliche Zinnober, wie auch der künstliche kommt mitunter in deutlichen durchsichtigen Krystallen des hexagonalen Systems vor; die Grundform ist ein spitzes Rhomboëder. Spec. Gewicht 8,0 bis 8,1. Durch Erhitzen und schnelles Abkühlen kann das rothe Schwefelquecksilber in das schwarze verwandelt werden. Im Allgemeinen stimmen beide Modificationen in ihrem chemischen Verhalten überein, nur setzt der Zinnober den Auflösungsmitteln einen größeren Widerstand entgegen. Die nicht oxydirenden Säuren greifen den letzteren sehr schwer an; leichter wirkt concentrirte Salpetersäure, besonders aber Königswasser.

Quecksilberchlorür ($Hg^2 Cl$), einfach oder Halbchlorquecksilber, versüßtes Quecksilber, salzsaures Quecksilberoxydul, Calomel, Chloretum Hydrargyri, Hydrargyrum chloratum, Hydrargyrum muriaticum mite, Murias seu Hydrochloras oxyduli Hydrargyri mitis, Mercurius dulcis, scheint zuerst am Anfange des 17. Jahrhunderts bekannt geworden zu sein. Es wird auf trocknem oder nassem Wege bereitet. Die erstere Art ist die ältere, die letztere wurde zuerst 1778 von Scheele in Vorschlag gebracht.

Man reibt 4 Th. fein gepulvertes Quecksilberchlorid mit 3 Th. Quecksilber bis zur Extinction des letzteren. Um sich hierbei gegen den schädlichen Staub zu schützen, befeuchtet man die Masse mit Weingeist. Dann trocknet man die Masse bei gelinder Wärme aus und füllt sie in kleine Kolben oder Medicingläser, jedoch so, daß der Boden nur einige Finger hoch davon bedeckt ist. Eben so tief stellt man die Gläser, die man mit Kreidestöpseln verstopft, in Sand und sublimirt. Das Sublimat setzt sich oben an den Wänden ab. Ist die Sublimation beendet, so verstärkt man das Feuer, um das metallische Quecksilber, das stets im Sublimat enthalten ist, zu verflüchtigen. Bleibt noch etwas zurück, so giebt sich dies durch eine graue Farbe zu erkennen. Man schafft es dann durch Abschaben fort. Nach Mohr vermeidet man die Verunreinigung durch Quecksilber ganz, wenn man das Gemenge von Quecksilbersublimat und Quecksilber vor der Sublimation in flachen Gefäßen erhitzt, bis das Gemenge weiß geworden ist. Außerdem ist aber das Sublimat auch durch Quecksilberchlorid verunreinigt, das seiner giftigen Eigenschaften wegen durch sorgfältiges Auswaschen mit heißem Wasser vollständig entfernt werden muß. In dem Wasser darf weder Aetzkali noch Schwefelwasserstoffgas eine Reaction hervorbringen. Nach Hermbstädt mischt man 31 Th. trocknes schwefelsaures Quecksilberoxyd mit $20^1/_3$ Th. Quecksilber und 15 bis 20 Th. trockenem Kochsalz innig und unterwirft das Gemenge der Sublimation. Die Zersetzung wird durch folgende Formel anschaulich: $HgO. SO^3 + Hg + Na Cl = Hg^2 Cl + NaO. SO^3$. Auf diese Art wird in der Apotheker-Halle

*) Chem. Centralbl. 1855. S. 300.

zu London, die nicht allein England, sondern auch die Colonien mit pharmaceutischen Präparaten versorgt, Calomel in bedeutenden Mengen dargestellt.

Da dieses Präparat in Wasser unlöslich ist, so hängt seine medicinische Wirkung sehr von dem Zustande der Zertheilung ab. Man zerreibt daher die sublimirte Masse mit Wasser zu einem feinen Pulver, das dann noch geschlämmt wird. Eine höchst feine Zertheilung verursacht auf diesem Wege große Mühe; viel leichter ist eine solche zu erzielen, wenn man die Calomeldämpfe bei der Sublimation in einen großen Ballon, der etwas Wasser enthält, leitet und diesen gegenüber Wasserdampf eintreten läßt, der den Calomel zu einem sehr feinen Pulver zertheilt. Allein aus diesem Grunde äußert dieses Pulver eine viel größere Wirksamkeit als der auf dem gewöhnlichen Wege bereitete Calomel. Mohr hat zur feinen Vertheilung der Calomeldämpfe die Abkühlung in kalter Luft vorgeschlagen. Der Hals des Kolbens, in welchem die Sublimation vorgenommen wird, mündet durch die Seitenwand in ein großes hölzernes Faß. Gerade gegenüber befindet sich in der anderen Seitenwand des Fasses eine zweite Oeffnung, durch welche mittelst eines durchbohrten Korkes ein Glasrohr bis in den Bauch des Kolbens reicht. Das Rohr steht am äußeren Ende mit einem Blasebalg in Verbindung, der in Thätigkeit gesetzt wird, sobald die Sublimation beginnt. Der obere Boden des Fasses ist durch eine Leinwanddecke ersetzt, durch welche die Luft entweicht.

Auf nassem Wege bildet sich dieses Präparat, wenn man in eine Auflösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul nach und nach eine verdünnte Kochsalzlösung gießt. Die Zersetzung findet nach folgender Formel statt: $Hg^2O. NO^5 + NaCl = HgCl + NaO. NO^5$. Für pharmaceutische Zwecke ist diese Bereitungsart jedoch nicht sehr zu empfehlen, da man dabei sehr große Vorsicht anwenden muß, wenn man stets ein Präparat von gleicher Wirksamkeit erhalten will.

Da dieses Präparat eines der wichtigsten Arzeneimittel ist, so muß man sorgsam auf seine Reinheit achten. Wie man die Gegenwart von Quecksilberchlorid erkennt, haben wir schon angegeben. Außerdem kann es noch salpetersaure Quecksilbersalze enthalten, die sich beim Erhitzen durch rothe Dämpfe zu erkennen geben. Ein damit verunreinigter Calomel giebt bei der Digestion mit Wasser, dem man etwas Salpetersäure zugesetzt hat, sobald man Kalilauge hinzuthut, einen Niederschlag von basischem Salz. Andere betrügliche Zustände bleiben bei der Sublimation des Calomel zurück.

Bei den Verordnungen dieses Mittels hat man sorgsam darauf zu achten, daß es durch viele Substanzen zersetzt wird. Die Chloralkalien verwandeln das Chlorür in das gefährliche Chlorid; Goldschwefel bildet damit schwarzes Quecksilbersulfid und Antimonchlorür, Jod erzeugt daraus Quecksilberjodid und Chlorid, die Jodalkalien dagegen unlösliches Quecksilberjodür. Ferner dürfen Chlormetalle überhaupt, Salzsäure, Mineralsäuren, Magnesia (reine und kohlensaure), Alkalien, Ammoniak, Cyanverbindungen so wie Kirschlorbeer- und Bittermandelwasser nicht gleichzeitig mit Calomel verordnet werden. — In den heißen Ländern wird dieses Arzeneimittel in enormen Mengen verbraucht, da die Dosen dort bedeutend größer sein müssen. So verbraucht z. B. die ostindische Armee nach H. Rose *) jährlich 30 Ctr., während der Bedarf der Charité in Berlin sich 1835 nur auf 8 Pfd. belief.

*) Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 333.

Wenn man größere Mengen von Calomel der Sublimation unterwirft, so erhält man oft schöne durchsichtige Krystalle (quadratische Prismen mit octaëdrischer Zuspitzung), die sich durch ein bedeutendes Refractions- und Dispersionsvermögen auszeichnen. Der sublimirte Calomel hat eine mehr gelbliche Farbe, während der durch Wasserdämpfe zertheilte, so wie der auf nassem Wege erhaltene mehr rein weiß aussieht. Zerbricht man die sublimirten Massen im Dunkeln, so beobachtet man ein Leuchten wie beim Zucker.

Das Quecksilberchlorür besitzt weder einen Geschmack, noch einen Geruch. Specifisches Gewicht 6,5. Die Dichtigkeit des Dampfes ist = 8,2. Durch das Licht wird diese Verbindung langsam zersetzt und nimmt dabei eine graue Farbe an. Die gleiche Wirkung üben auch Wasserdämpfe oder siedendes Wasser aus; es entsteht ein graues Gemenge von Chlorür und Quecksilber, während das Chlorid aufgelöst wird. Das Chlorür ist so gut wie unlöslich in Wasser. Nach Pfaff erhält man sogar noch einen Niederschlag von Quecksilberchlorür auf Zusatz von salpetersaurem Quecksilberoxydul bei Gegenwart von 1 Th. Chlorwasserstoffsäure in 250,000 Th. Wasser. Durch Kochen mit Chlorwasserstoffsäure verwandelt sich das Chlorür sehr rasch in Chlorid, wobei sich metallisches Quecksilber ausscheidet; durch concentrirte Salpetersäure in Chlorid und salpetersaures Quecksilberoxyd; durch Königswasser und Chlorwasser vollständig in Chlorid. Mit trockenem Ammoniakgas verbindet sich das Quecksilberchlorür sehr leicht ($Hg^2Cl + NH^3$). Durch Aetzammoniakflüssigkeit verwandelt sich das Chlorür in ein graues Pulver ($Hg^2Cl. Hg. NH^2$).

Quecksilberchlorid (HgCl), doppelt, auch einfach Chlorquecksilber, salzsaures Quecksilberoxyd, Sublimat, Aetzsublimat (Hydrargyrum bichloratum, Bichloratum Hydrargyri, Hydrargyrum muriaticum corrosivum, Hydrargyrum corrosivum album, Mercurius sublimatus corrosivus, Murias seu Hydrochloras oxydi Hydrargyri corrosivus) soll schon sehr früh den Chinesen bekannt gewesen sein; Geber wußte es schon im 8. Jahrhundert zu bereiten.

Im Großen stellt man dieses Präparat gewöhnlich auf folgende Weise dar: Man sublimirt ein Gemenge von gleichen Theilen trocknem schwefelsaurem Quecksilberoxyd und Kochsalz in einer Retorte mit einem langen und weiten Halse. Formel der Zersetzung: $HgO. SO^3 + NaCl = Hg. Cl + NaO SO^3$. Da das Quecksilberchlorid sehr giftig wirkt, so muß man sich bei dieser Operation gegen das Einathmen der Dämpfe schützen. Enthält das Quecksilberoxyd Oxydul, so wird das Präparat durch Calomel verunreinigt. Um dies zu verhüten, setzt man der zu sublimirenden Masse etwas Braunstein zu. Auf diese Weise erhält man das Quecksilberchlorid in strahlig krystallinischen, weißen, durchscheinenden Massen mit langblättrigem Bruch.

Man kann es auch auf nassem Wege bereiten, wenn man Quecksilber in Königswasser löst, das einen großen Ueberschuß von Chlorwasserstoffsäure enthält. Die überschüssige Säure wird verdampft und der Rückstand in heißem Wasser gelöst. Beim Erkalten scheidet sich das Chlorid in farblosen Krystallnadeln aus. Oder man löst Quecksilberoxyd in verdünnter Chlorwasserstoffsäure auf. Durch Zersetzung der Quecksilberoxydsalze mittelst Chlormetallen entsteht gleichfalls Quecksilberchlorid. Eben so, wenn man eine heiße concentrirte Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul durch Chlorwasserstoffsäure fällt und den Niederschlag in Chlorwasserstoffsäure auflöst.

Specifisches Gewicht 6,5; des Dampfes 9,42. Ehe es sich in Dampf verwandelt, schmilzt es (bei 265° C.) und fängt an zu sieden (bei 295° C.). Es verflüchtigt sich leichter als das *Chlorür*. Es besitzt einen unangenehmen metallischen Geschmack und wirkt äußerst giftig, so daß der Tod in sehr kurzer Zeit erfolgt. Der abscheuliche Geschmack dient *hier* wohl oft als Warnung. Eine starke Dosis Sublimat ruft folgende *Symptome* hervor: Gefühl von Zusammenschnüren und brennender Hitze im Halse, der *bald* heftig entzündet wird. In Folge davon kann schon der Tod erfolgen, selbst wenn der Sublimat nicht bis in den Magen gelangt ist. Dann folgen Angst, heftige Schmerzen im Munde, im Schlunde, in der Speiseröhre und besonders dem Magen und den Gedärmen; Ekel, Erbrechen und Durchfall. Die Entleerungen nach oben und unten sind hier häufiger wie bei anderen Metallvergiftungen. Später tritt eine große *Mattigkeit* ein, die Haut wird kalt und bedeckt sich mit Schweiß. Sodann folgen Ohnmachten und eine allgemeine Unempfindlichkeit, so daß man den Kranken kneipen kann, ohne daß er etwas davon merkt. Zuweilen stellen sich auch Krämpfe ein. Wenn sich der Körper mit eiskaltem Schweiß bedeckt, so bleibt der Tod nicht lange aus. Im Allgemeinen bleiben die Geisteskräfte bis zum letzten Augenblicke ungestört. Selbst der unvorsichtige und anhaltende innerliche und äußerliche Gebrauch einer kleinen Dosis Sublimat ($^2/_3$ oder $^3/_5$ Gran z. B.) verursacht oft ernste Unfälle, die sogar den Tod herbeiführen können. Bei Personen, die oft innerlich und äußerlich Quecksilberpräparate genommen haben, hat man beobachtet, daß Gold, welches man auf verschiedenen Stellen des Körpers rieb, sich mit Quecksilber überzog.

Unter den vielen Gegenmitteln, die vorgeschlagen sind, verdient besonders Eiweiß den Vorzug, da es stets leicht herbeizuschaffen ist. Das Eiweiß geht mit dem Sublimat eine unlösliche Verbindung ein. Bei dieser Vergiftung ist es überhaupt vortheilhaft, den Kranken überhaupt so viel Flüssigkeiten zu geben als nur möglich. Selbst gewöhnliches Wasser von + 25 bis 30° leistet gute Dienste; der Magen wird dadurch angefüllt und die zerstörende Wirkung des Giftes geschwächt; es ruft Erbrechen hervor und dadurch wird ein Theil des Giftes fortgeschafft.

Das Chlorid löst sich in 16 Th. kaltem, 3 Th. kochendem Wasser, in $2^1/_2$ Th. kaltem, in $1^1/_6$ Th. kochendem Alkohol und in 3 Th. kaltem Aether. Die wässerige Lösung zersetzt sich bald am Lichte. Chlorwasserstoffsäure löst in der Wärme so viel Sublimat auf, daß die Lösung beim Erkalten zu einer krystallinischen Masse wird. Auch in Salpetersäure ist es leicht löslich; Schwefelsäure übt jedoch darauf keine Wirkung aus. — Durch Phosphor wird das Quecksilberchlorid zersetzt; es bildet sich Chlorphosphor und Quecksilber scheidet sich aus. Durch viele Metalle wird das Chlorid gleichfalls reducirt, entweder zu Chlorür oder zu metallischem Quecksilber. Eine gleiche Wirkung, die durch das Sonnenlicht bedeutend unterstützt wird, üben auch viele organische Substanzen aus; auf diesen Umstand hat man bei den Arzeneimitteln zu achten, welche Quecksilberchlorid enthalten. Erhitzt man das Quecksilberchlorid mit kaustischen Alkalien oder mit deren kohlensauren Salzen, so sublimirt Quecksilber, Sauerstoff und Kohlensäure entweicht und das Chlor bleibt mit dem Alkali verbunden zurück. Das Quecksilberchlorid geht mit den Chlormetallen eine große Reihe von Doppelverbindungen ein; eben so verbindet es sich auch mit Quecksilberoxyd in verschiedenen Verhältnissen. Diese Verbindungen nennt man Quecksilberoxychloride oder basische Quecksilberchloride.

Das Quecksilberchlorid wird häufig als Arzeneimittel benutzt, sowohl innerlich, wie äußerlich. Es dient ferner zur Darstellung mehrerer Quecksilberpräparate und als Reagens auf Eiweiß. Auch in der Technik findet es Verwendung: als Beizmittel für Haare in der Hutmacherei, als Conservationsmittel für Holz, beim Ausstopfen von Thieren, zum Erhalten von Leichen und anatomischen Präparaten. Es hält nicht allein die Fäulniß ab, sondern verhindert auch eine Zerstörung durch Insekten.

Behandelt man eine Auflösung von Quecksilberchlorid mit Ammoniak, so erhält man ähnliche Verbindungen wie beim Quecksilberoxyd. Hier sind es Chlorverbindungen eigenthümlicher Quecksilberbasen. Ein solcher Niederschlag ist unter dem Namen weißer Präcipitat, salzsaures Quecksilberoxyd-Ammoniak, basisches Ammoniumquecksilberchlorid (Hydrargyrum muriaticum praecipitatum, Hydrargyrum ammoniato-muriaticum oxydatum praecipitatum, Murias oxydi Hydrargyri ammoniacalis, Oxydum hydrargyricum cum Chloreto Ammonii, Mercurius praecipitatus albus, Mercurius cosmeticus) officinell.

Quecksilberbromür ($Hg^2 Br$) erhält man durch Fällen einer Auflösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul mittelst Bromkaliumlösung. Es ist ein weißes, in Wasser unlösliches Pulver, das sich in der Hitze vollständig verflüchtigt.

Quecksilberbromid ($Hg Br$) stellt man dar durch Auflösen von Quecksilber in Brom. Dampft man die Lösung ab, so erhält man Krystalle. — Quecksilberjodür ($Hg^2 J$) gewinnt man auf ähnliche Art, wie die entsprechende Bromverbindung. Oder man reibt 2 Aeq. Quecksilber mit 1 Aeq. Jod oder Quecksilberjodid mit der erforderlichen Menge Quecksilber zusammen. Es ist ein grüngelbes, sehr leicht zersetzbares Pulver. In neuerer Zeit findet es medicinische Anwendung. Wie beim Calomel hat man auch hier genau darauf zu achten, daß das Präparat frei sei von der höheren Jodverbindung. Diese kann durch Alkohol entfernt werden. Quecksilberjodid ($Hg J$) bereitet man am besten durch Zersetzen einer Quecksilberchloridlösung mittelst Jodkalium oder Jodeisen, welches billiger ist. Der Niederschlag besitzt eine prächtig scharlachrothe Farbe, die sich bei gelindem Erhitzen in Gelb verwandelt. Bei verstärkter Hitze sublimirt das Quecksilberjodid und bildet dann Krystalle von gelber Farbe. Rothe Krystalle erhält man aus einer Auflösung von Quecksilberjodid in Jodkalium. Die Form dieser Krystalle ist aber verschieden von der der gelben; das Quecksilberjodid ist demnach dimorph. Die gelben Krystalle verwandeln sich aber mit der Zeit in ein Aggregat von rothen Krystallen. Besonders rasch geht diese Verwandlung beim Zerreiben vor sich, oder wenn man einen Krystall ritzt. Der berührte Punkt nimmt augenblicklich eine intensiv rothe Farbe an und diese verbreitet sich schnell über die ganze Oberfläche. Diese Farbenwandlung ist mit einer deutlichen Bewegung verbunden, so daß ein kleines Häufchen solcher Krystalle wie belebt erscheint. — Das Quecksilberjodid wird in großer Menge bei der Tapetenfabrikation und zum Calicodruck verbraucht unter dem Namen englischer Vermillon. Auch in der Oelmalerei findet es Verwendung. Wie das Quecksilberchlorid bilden auch die entsprechenden Brom- und Jodverbindungen mit den Brom- und Jodmetallen Doppelsalze.

Quecksilbercyanid ($Hg Cy$ oder $Hg. C^2 N$) wurde bereits von Scheele entdeckt, aber durch Gay-Lussac erst richtig erkannt. Man erhält es durch Auflösen von Quecksilberoxyd in Cyanwasserstoffsäure; beim Abdampfen der Auflösung schießt es in farblosen, quadratischen Säulen an. Es wirkt im höchsten Grade

giftig. Mit den Cyan-, Chlor-, Brom- und Jodmetallen bildet es eine Reihe von Doppelsalzen.

Mit den Metallen bildet das Quecksilber die Amalgame (vergl. Art. Amalgam, Bd. I. S. 140).

Die Gegenwart kleiner Mengen von Quecksilber weist man dadurch nach, daß man in die Auflösung ein blankes Kupferblech bringt. Mag nun das Quecksilber als Oxydul oder Oxyd vorhanden sein, es schlägt sich auf das Kupfer metallisch nieder. Man nimmt dann auf diesem weiße Flecke wahr. Diese Methode ist besonders anzuwenden, wenn organische Substanzen zugegen sind. Schwefelwasserstoff ist zwar noch empfindlicher, aber bei Gegenwart organischer Substanzen nicht anwendbar. Man zerstört daher die letzteren durch Digeriren mit chlorsaurem Kali und Chlorwasserstoffsäure und treibt das überschüssige Chlor durch Erwärmen aus. Will man das Quecksilber in dem durch Schwefelwasserstoff erhaltenen Niederschlage nachweisen, so trocknet man diesen, mengt ihn mit Soda und erhitzt das Gemisch in einem kleinen Probirkolben. Das Quecksilber sublimirt und setzt sich oben als ein schwarzer Ring an, in welchem man durch die Loupe die Quecksilberkügelchen erkennen kann. Bei Spuren von Quecksilber versagt oft die Loupe den Dienst; in diesem Falle wird das Quecksilber selbst dem bloßen Auge sichtbar, wenn man einen Tropfen Jodtinctur in das Glas gießt. Das Jod verdunstet und dann sieht man an allen Stellen, wo sich Quecksilber befand, das intensiv rothe Quecksilberjodid. Durch Glühen mit Soda erkennt man auch die Gegenwart des Quecksilbers in trockenen Substanzen, mag es darin als Oxyd oder Oxydul enthalten sein. — Um bei gerichtlichen Untersuchungen das Quecksilberchlorid nachzuweisen, behandelt man die verdächtigen Substanzen mit Wasser, Alkohol oder Aether und behandelt das Filtrat mit den weiter oben angegebenen Reagentien. Da das Quecksilberchlorid von concentrirten Lösungen von Chlornatrium und Chlorammonium in größerer Menge aufgenommen wird als vom Wasser, so wendet man diese hierbei oft zweckmäßiger an.

Quantitativ bestimmt man das Quecksilber gewöhnlich als Metall; als Reductionsmittel wendet man Zinnchlorür oder phosphorige Säure an. Beim Gebrauch des ersteren darf keine Salpetersäure zugegen sein; auch ist es bei Gegenwart von Schwefelquecksilber nicht anwendbar. Da hierbei ein Verlust unvermeidlich ist, so ist es besser, das Quecksilber aus den Lösungen durch Schwefelwasserstoffgas zu fällen, das Schwefelquecksilber mit Aetzkalk zu mischen und in einer Glasröhre durch einen Strom Wasserstoffgas zu reduciren. Das Quecksilber sammelt man in einer gewogenen Vorlage. Es schadet hier nichts, wenn auch das Schwefelquecksilber mit anderen Schwefelmetallen vermischt ist, da nur das Quecksilber destillirt. — Hat man in Lösungen beide Sauerstoffverbindungen des Quecksilbers bei einander, so fällt man das Oxydul durch Chlorwasserstoffsäure. — Will man das Quecksilber in Amalgamen bestimmen, so glüht man diese, wenn die mit Quecksilber verbundenen Metalle nicht flüchtig sind. W. B.

Quelle, Quell, Brunnen nennt man das aus dem Innern der Erde hervortretende Wasser, oder auch jeden Ort, wo Wasser aus dem Innern der Erde hervortritt. Doch lassen sich die Quellen in zu Tage gehende und unterirdische eintheilen. Zu den ersteren gehören auch die in Wassersammlungen, so wie die in Höhlen mündenden, und zu den letzteren alle diejenigen, welche erst

durch künstliche Mittel zu Tage gefördert werden, beim Graben von Brunnen und Anlegung der Schachte in Bergwerken. Unterirdische Quellen finden sich fast überall, aber in sehr ungleichen Tiefen, so daß man, um sie zu entdecken und zu benutzen, oft bis zu beträchtlichen Tiefen graben muß. Da dies mit großen Kosten verbunden ist, so hat man in neueren Zeiten statt des Grabens Bohrlöcher mit dem Erd- oder Bergbohrer in die Erde eingetrieben. Durch diese sogenannten Bohrbrunnen oder Artesische Brunnen kann man bis zu beträchtlichen Tiefen kommen bei einem geringeren Kostenaufwand. Den Namen „Artesische Brunnen" haben dieselben von der französischen Provinz Artois, wo man wegen der günstigen Beschaffenheit des Terrains Bohrbrunnen anlegte, und von wo aus das Verfahren des Brunnenbohrens größere Verbreitung gefunden hat. Indessen hat man früher als dort schon in Deutschland (Oesterreich) und Ober-Italien Bohrbrunnen angelegt, und die Chinesen scheinen schon in der ältesten Zeit Bohrbrunnen gehabt zu haben.

Die natürlichen Quellen sind in sehr großer Zahl über die Erdoberfläche verbreitet, und erzeugen die Flüsse, Ströme, Seen ꝛc. Es ist bekannt, daß die Atmosphäre (s. d. Art.) zu jeder Zeit Wasserdampf enthält, der sich fortwährend von der Oberfläche des Meeres erhebt und in der Atmosphäre verbreitet. Aber nicht allein das Meer, sondern alles Wasser, welches die Erdoberfläche bedeckt, so wie auch der feuchte Erdboden selbst erleidet in Folge des Verdunstungsprocesses (s. d. Art. Verdunstung) einen Verlust, der in der Form von Wasserdampf in die Atmosphäre aufsteigt. Aus dieser fällt aber das verdunstete Wasser wieder in der Form von Nebel, Regen, Schnee ꝛc. herab. Das auf die Erde niederfallende Wasser dringt nun in dieselbe ein, so tief als sie für das Wasser durchdringlich ist; es erfüllt alle Zwischenräume und Klüfte, welche hauptsächlich im Innern der Gebirge vorkommen, und welche oft große Höhlungen und Sammelplätze für das Wasser bilden, und nur das, was nicht eindringen kann, theils wenn die Höhlungen gefüllt sind, theils wenn das Wasser nicht so schnell in die mit Dammerde bedeckten Felsklüfte eindringen kann, als der Regen es schüttet, läuft in das Thal und zu den niedrigsten Punkten ab, und bringt Bäche und Flüsse öfter zum Anschwellen und Uebertreten. Je klüftiger nun das Gebirge ist, und je größer seine Oberfläche, desto mehr wird Wasser in dasselbe eindringen, und zwar allenthalben so tief, bis es auf ein Hinderniß stößt, d. h. bis es auf eine Schicht kommt, welche kein Wasser durchläßt und dasselbe nöthigt, sich seitwärts einen Ausweg zu suchen oder aufzustauen. Dergleichen nichtdurchlassende Schichten kommen in den Gebirgen häufig zwischen den klüftigen vor. Als Unterlage unter klüftigem Gestein fangen sie das von oben kommende Wasser auf, und bringen es oft schon in beträchtlicher Höhe als Gebirgsquellen zum Ausguß, und als Decke über klüftigem Gestein halten sie das schon über ihrem Anfange am Gebirge eingedrungene Wasser eingeschlossen und nöthigen dasselbe in seinem unterirdischen Laufe so lange fortzufließen, bis an irgend einer Stelle diese Decke durchbrochen ist, wo sodann das Wasser als natürliche Quelle hervortritt. Solche wasserhaltende, mit einer undurchdringlichen Decke versehene Schichten können in den Flötzgebirgen mehrere unter oder über einander vorkommen, und zwar in beträchtlicher Tiefe, weshalb man bei der Erbohrung solcher Brunnen, bei welchen das angebohrte Wasser nicht hoch genug aufsteigt, durch Tieferbohren nicht selten seinen Zweck erreicht, insofern die tiefer vorkommenden Wasserschichten meistens

einen höheren Ursprung (Einlauf) haben und mithin nach ihrer Lösung auch höher und mächtiger aufsteigen und ausgießen, als die weniger tief gehenden. Diese Wasserschichten sind häufig von sehr großer Ausdehnung nach Breite und Länge; sie können Meilen weit fortlaufen, bis sie endlich einen Ausweg finden, oder ihre Decke durchbrechen, und eine senkrechte aufsteigende natürliche Quelle bilden, oder auch ganz gesperrt bleiben.

Alle verborgenen Zuflüsse, durch welche eine Quelle Wasser empfängt, bilden zusammen ihr Wurzelsystem.

Man erkennt nun, daß das Erscheinen der Quellen von der Structur und Lagerung der Gesteine sehr abhängig sein muß. Wenn der Boden, wie in Steppenländern, aus horizontalen Schichten besteht, so können reichliche atmosphärische Niederschläge ohne Quellenbildung stattfinden. Dringt das Wasser ein, so wird es sich in der Tiefe zwischen den horizontalen Schichten sammeln und nur da hervortreten, wo die Oberfläche Vertiefungen oder Einschnitte darbietet. Eine allzu starke Neigung der Schichten kann jedoch ebenfalls der Bildung wasserreicher Quellen hinderlich sein. Weniger geneigte Schichten, welche das atmosphärische Wasser von einer größeren Oberfläche aufnehmen können, sind dagegen zur Bildung wasserreicher Quellen geeigneter. Sammelt sich das Wasser über einer geneigten Felsschicht, die für dasselbe undurchdringlich ist, so fließt es so lange abwärts, bis es an einer passenden Stelle austreten kann. Und wenn eine wasserführende Schicht bis unter das Meeresniveau einsinkt, so kann eine Süßwasserquelle mitten im Meere aufsteigen. So entdeckte Spallanzani *) in dem salzigen See bei Spezzia eine so starke Quelle süßen Wassers, daß sich kein Boot über derselben halten konnte. Derselbe fand die Quelle, nachdem er sein Boot hatte festbinden lassen, in 38,5 Fuß Tiefe auf und glaubte, daß sie durch einen in der Nähe versiegenden Bach gebildet werde. Humboldt **) fand an der Mündung des Rio Lagartos in der Gegend des Cap Catoche ungefähr 400 Meter vom Ufer stark sprudelnde Quellen süßen Wassers im Meere, die dort boceas de conil genannt werden; und nach De la Metherie ***) zeigte sich eine solche Quelle in der Nähe der Insel Cuba. Buchanan ****) berichtet, daß er in der Bai von Chittagong, 125 engl. Meilen von diesem Orte und 100 engl. Meilen von Sunderbunds, im Meerwasser eine mit starker Bewegung sprudelnde und ihr Wasser, das von etwas gelblicher Farbe erschien, weit verbreitende süße Quelle gefunden habe. Auch die Araber entdeckten *****) im persischen Meerbusen bei der kleinen Insel Arad unfern der Stadt Monama in der See in einer Tiefe von ein bis zwei Faden zur Ebbezeit gegen 30 Quellen süßen Wassers.

Ausgedehnte und stark bewaldete Hügel- und Berggruppen geben, namentlich wenn sie zugleich eine bedeutende Höhe haben, so daß sie in Folge der mit der Höhe abnehmenden Temperatur das atmosphärische Wasser leicht verdichten, viele oder doch einzelne sehr wasserreiche Quellen. Während das Wasser im aufgeschwemmten Lande, so wie im Acker-, Wiesen- und Gartenland sich allseitig

*) Journ. de Phys. 1786. Jul.
**) Journ. de Phys. LXIX. 51.
***) Tableau de la nature. T. II. p. 174.
****) Edinb. Phil. Journ. N. S. N. IV. p. 369.
*****) Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XV. p. 140.

ausbreitet, und so fein vertheilt auch zum Theil schnell wieder verdunstet, muß es sich in den schattigen und kühlen Bergen zwischen den Felsen zu größeren Massen ansammeln, loses Gestein durchrinnen, ohne von diesem selbst beträchtlich eingesogen zu werden, und sich über festen Fels- oder sonst für das Wasser undurchdringlichen Schichten ansammeln und fortbewegen. Höhere Berge sind, wie man weiß, häufig von Wolken eingehüllt, die sie wegen ihrer Kälte verdichten. Dazu kommt noch in den Hochgebirgen der Schnee, der am Tage und während der wärmeren Jahreszeit schmilzt und den Quellen so als Speise dient. Unter dem Einfluß des Waldes und bei sonst günstiger Bodenbeschaffenheit können auch bewaldete Hügel und niedrigere Bergketten reiche und anhaltende Quellen geben. Durch die Wälder wird die directe Einwirkung der Sonnenstrahlen auf den feuchten Boden gehindert und dadurch die Verdunstung des Wassers verringert. Es fehlt nicht an Erfahrungen, welche dafür sprechen, daß in manchen Gegenden durch die Ausrottung der Wälder die Quellen geschwächt und vermindert worden sind. Ein merkwürdiges und genauer untersuchtes hierher gehöriges Beispiel führt Bruckmann an. Der Kirchbrunnen zu Heilbronn, welcher in 7 Röhren, je von $1^1/_2$ Zoll Durchmesser, beiläufig 3 Fuß hoch über den Wasserspiegel des Neckar ausgießt, entspringt mitten in der Stadt in mehreren einzelnen Quellen, welche durch gemauerte Kanäle zusammengeführt sind, aus Keuper-Mergel. Sein Wasser hat beständig eine Temperatur von 9° R. und zeichnet sich vor allen anderen Wassern in der dortigen Gegend dadurch aus, daß es nur Spuren von Gyps enthält, mit welchem alle anderen Brunnenwasser daselbst geschwängert sind. Ungefähr eine halbe Stunde an dem Ausgusse dieser Quelle erhebt sich das die Stadt gegen Ost in einem Halbkreise umgebende Keupergebirge, dessen Kuppe durchaus aus Sandstein besteht, welcher auf buntem Mergel aufgelagert ist. Auf der nördlichen Hälfte dieses Halbkreises kommen bedeutende Gypsstücke vor, welche aber auf der südlichen Hälfte fehlen. Auf letzterer liegt die Gebirgsschlucht (im Köpfer genannt), von welcher nach alter Sage die Kirchbrunnquelle ihren Ursprung haben soll, was auch die geognostische Beschaffenheit der Gegend zu rechtfertigen scheint. Eine Untersuchung der Wasser, die dort schwache Quellen ausgießen, hat gezeigt, daß dieselben von Gyps wohl noch freier sind als das Kirchbrunnwasser, und eine in dieser Linie ausfließende Quelle im Stadtgraben liefert das nämliche Wasser, so daß es wahrscheinlich ist, daß man die Entstehung der Kirchbrunnquelle in dem genannten Theile des Gebirges zu suchen hat. Die Kuppen der genannten Berge sind durchaus mit Laubholz bewachsen, und werden alljährlich so abgeholzt, daß der Turnus in 20 Jahren umläuft. Bruckmann hat nun seit etwa 30 Jahren zum zweiten Male beobachtet, daß die Ausgußmenge des Kirchbrunnens sich vermindert, wenn der Holzschlag dem Köpfer nahe kommt, und sich allmälig wieder vermehrt, so wie das Buschwerk in diesem Waldtheile wieder heranwächst. Im Jahre 1831, als der Holzschlag im Köpfer selbst war, lief der Kirchbrunnen so schwach, daß einige Röhren nur träufelten; es entstand Besorgniß, die Quelle ganz zu verlieren, und es wurden über die Ursachen des Nachlasses allerlei Vermuthungen geschöpft. Wie das Buschwerk im Köpfer hat jedoch auch die Quelle wieder zugenommen, und die Besorgnisse sind verschwunden.

Aus den vorstehenden Betrachtungen über den Ursprung der Quellen folgt schon, daß die letzteren nur in einer gewissen Tiefe erscheinen, und auf den höchsten Gipfeln der Gebirge nicht vorkommen können. Allerdings hat man auch Quellen

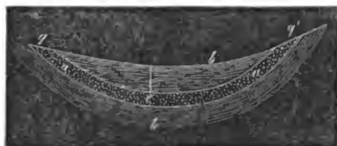
in bedeutender Höhe gefunden, aber doch nicht auf den höchsten Gebirgsspitzen. Gewöhnlich hat man vom Herenbrunnen behauptet, daß er eine reiche Quelle gewissermaßen auf der Spitze des Brockens sei. Doch ergab eine genauere Messung, daß derselbe 18 Fuß unter dem flachen Gipfel des Berges liegt. Dieser Gipfel ist fast fortwährend von Nebel und Wolken umhüllt, welche die dort wachsenden Moose und Kräuter stark benetzen, auch fällt frühzeitig Schnee, der sich lange erhält und durch allmäliges Schmelzen die Quelle speist. Alle localen Umstände zusammengenommen lassen es hier sehr begreiflich erscheinen, daß dieser Brunnen fast immer mit gleicher Stärke fließt; jedoch ist er auch schon einige Mal versiegt, so im Sommer 1786 und im Jahre 1822.

Die Beziehung zwischen Quellen und Gebirgsbeschaffenheit ist bereits hervorgehoben. Man weiß, daß das Wasser den Sand schnell durchdringt, während es der Thon bei weitem mehr an seiner Oberfläche zurückhält. Gebirgsarten, die nach allen Richtungen gespalten und zerrissen sind, bieten zwar für die Entstehung der Quellen besonders günstige Verhältnisse dar, allein vorzugsweise nur dann, wenn die Spalten und Risse durch eine längere Strecke in einem gewissen Zusammenhange unter einander stehen. Ist dies nicht der Fall, so kommen die eingedrungenen Wasser bald wieder zu Tage, und solche Quellen werden bei anhaltendem trocknen Wetter versiegen. In den Granitgebirgen sind die Quellen meist arm an Wasser, aber zahlreich. Wo jedoch mehrere sogenannte Urgebirgsarten auf einander gelagert sind, werden mit dem Bergbau häufig reine und wasserreiche Quellen eröffnet. Andauernde Quellen kommen nicht selten im Gneiß und Glimmerschiefer, im Thonschiefer und Grauwackelager vor. Ueberhaupt zeigen sich geschichtete Felsarten, bei denen poröse, zerklüftete Schichten mit anderen wechseln, die das Wasser mehr zurückhalten, ergiebig. — Wenn das über einen großen Bezirk fallende Wasser vermöge der Structur der Gebirgsarten sich in unterirdischen Behältern ansammeln kann, so entspringen daraus sehr wasserreiche Quellen; so in den Kalk- und Dolomitgebirgen. Doch können auch bedeutende Zerklüftungen, wie z. B. im Muschelkalk, eine gewisse Quellenarmuth zur Folge haben, insofern nämlich das fallende Wasser durch die Klüfte in sehr beträchtliche Tiefen hinabsinkt. — Das Keupergebirge bietet verhältnißmäßig zahlreiche Quellen, während die hohen, aus Jurakalk bestehenden Plateaus nicht selten sehr arm an Wasser sind. Die in mächtigen Schichten abgelagerten großen Massen von älterem Flötz- und Jurakalk enthalten zwar im Allgemeinen nicht so zahlreiche Quellen, als die Ur- und Uebergangs-Terrains, aber sie sind dagegen viel wasserreicher und in ihrer Natur, ihrer Beschaffenheit und Temperatur sehr verschieden. Die Gebirgsebenen, die Gipfel und die oberen Thäler der Flötzgebirge zeigen eine große Menge Kessel oder Trichter, durch welche sich die Wasser von der Oberfläche in die Höhlen stürzen. Man findet sie sowohl am Fuße als in den höheren Punkten der Gebirge. Die horizontalen Schlünde liegen aber meist mehr gegen die Mitte der Gehänge zu, während die vertikalen fast immer auf den Plateaus oder auf den Gipfeln vorkommen. Aus dem thonigen Kalk, dann aus dem Bergkalk, aus der Rauhwacke rc. entspringen eben so zahlreiche als wasserreiche Quellen, die, nach ihrem Aufsteigen zu urtheilen, wenn sie durch ein Bohrloch gelöst werden, aus sehr hoch liegenden Reservoirs zu kommen scheinen. Wenn der kreideartige Kalk in großen Tiefen vorkommt, und von jüngeren Formationen bedeckt wird, so ist er dicht und enthält beträchtliche Wassermassen, die aus den Gebirgen hervor-

kommen, deren Fuß er bedeckt. Zeigt sich dieser Kalk an der Oberfläche des Bodens oder steht er in geringerer Tiefe an, so ist er oft durch die ganze Masse zerklüftet, und dann findet man die Wasser meist nur in sehr großer Tiefe. Sie liegen nämlich unter den großen Kreidemassen und dem darunter gelagerten Thone des thonigen Kalkes, und man sieht sie im Kreideboden oft aus den Thalsohlen hervorbrechen. Auch der Quadersandstein zeigt da, wo er dem Kreidegebirge als Unterlage dient, nicht selten reichhaltige Quellen. — Das aufgeschwemmte Land enthält ebenfalls viel süße Quellwasser. Am sparsamsten kommen sie jedoch in Ablagerungen von Sand und Gerölle vor, wenn dieselben nicht von Thon oder sandigen Thonschichten durchsetzt sind. Wo dies nicht der Fall ist, dringen die Wasser in diese Ablagerungen ein, verbreiten sich im Sande und werden nun durch die mergeligen oder tuffartigen Thonschichten zurückgehalten, wo sie sich in Massen sammeln, die man durch Anlegung artesischer Brunnen sucht. Am häufigsten finden sich die Quellen in den Auflagerungsflächen dieser Terrains auf einer älteren Formation. Zuweilen zeigen sich in angeschwemmten Terrains auch natürliche Springquellen, deren Wasser ohne Zweifel aus höheren Gegenden, wahrscheinlich aus sogenannten Flötz- und Urformationen kommen. — Quellen, die aus höher gelegenen Gegenden auf einer festen Grundlage herabfließen und dann durch eine dünnere Sandschicht ihren Weg nehmen, geben auch Veranlassung zu jenen vegetationsreichen Plätzen mitten in den großen Sandwüsten. Diese Plätze nennt man bekanntlich O a s e n.

Sowohl bei den gebohrten als auch bei den gegrabenen Brunnen kommt es vor, daß sich das aufgefundene Wasser emporhebt, zuweilen bis über die Oberfläche der Erde. Da dies namentlich auch bei den in Artois gebohrten Brunnen der Fall ist, so hat man wohl auch hie und da diejenigen Bohrbrunnen vorzugsweise a r t e s i s c h e genannt, bei denen eine solche Erhebung des Wassers stattfindet.

Befindet sich eine geneigte wasserdurchlassende Schicht a (s. beistehende Figur), etwa eine Sand- oder Kiesschicht, zwischen wasserdichten Schichten b b, so wird atmosphärisches Wasser, das auf der einen Seite, etwa von Seiten eines Berges in die mittlere Schicht a eindringt, sich hier ansammeln und in dem Punkte q als natürliche Quelle hervortreten können. Ist nun die Schicht a muldenförmig gebogen, so steht das Wasser in den mittleren Punkten, z. B. in e unter dem Drucke einer Wassersäule, der von dem Niveauunterschiede zwischen e und q abhängig ist. Wenn demnach das Lager über e durchbohrt wird, so muß hier das Wasser als sogenannter artesischer Brunnen, mit einer dem bezeichneten Niveauunterschiede entsprechenden Geschwindigkeit hervortreten.



Die Anlegung der artesischen Brunnen ist in neuerer Zeit erst zu einer solchen Vollkommenheit gediehen, daß man auch in minder günstigen Terrains Bohrbrunnen anlegen kann, indem bis zu der nöthigen Tiefe gebohrt wird. Es wird zuerst ein Schacht angelegt, welcher durch das obere lockere Erdreich geht, um die Operation mit größerer Leichtigkeit ausführen zu können. Wenn man einen

gewöhnlichen Brunnen zu Bohrversuchen benutzt so ist die Anlegung des Schachtes überflüssig. In diesem Schachte wird ein passendes Gerüste aufgeschlagen, um den Bohrer einzutreiben. Je nach der Beschaffenheit des Gesteines, durch welches man gehen muß, hat man verschiedene Bohrer. Der gewöhnlichste Bergbohrer hat die Form eines starken Meisels, und die Art, wie er in Anwendung gebracht wird, ist, daß man ihn mit dem Bohrgestänge mit Gewalt herabfallen läßt, und zugleich in eine drehende Bewegung setzt. Außerdem hat man noch mehrere Geräthschaften bereit zu halten, welche in besonderen Fällen zur Anwendung kommen *). So lange man nur durch harte Erdschichten oder durch festes Gestein bohrt, bleiben die Wandungen des Bohrloches von selbst sicher stehen. In lockerem Gestein und Erdreich fallen aber von der Seite Stücke nach, deren Fortschaffung oft sehr schwierig ist, wenn sie beim Weiterbohren über den Bohrer fallen, und die oft das Bohrloch gänzlich wieder verstopfen würden. In diesem Falle müssen im Bohrloch Röhren eingesenkt werden, welche das Nachstürzen verhindern.

Die allerältesten Bohrbrunnen giebt es vielleicht in China. Dieses Land ist an Bohrbrunnen sehr reich. Ein Missionär Imbert **) hat uns einige genauere Nachrichten über diese Brunnen gegeben. Auf einem Raume von etwa 40 bis 50 franz. Quadratmeilen sollen sich im Bezirke von Ou-Tong-Kiao einige Zehntausend solcher Brunnen befinden, welche 15 bis 1800 franz. Fuß Tiefe, und 5 bis 6 Zoll Durchmesser haben. Da diese Löcher mit einer Art Stahlkeule eingetrieben werden, so vergehen wenigstens 3 Jahre, ehe ein solches zu Stande kommt. Alle diese Brunnen sind zur Auffindung von Salzwasser angelegt, welches mittelst Pumpen herausgefördert wird. Aus fast allen entwickelt sich brennbares Gas, und einige geben keine Soole, sondern nur solches Gas. Sie werden

---

*) Bruckmann, vollständige Anleitung zur Anlage rc. artesischer Brunnen. Heilbronn 1833. Ein in günstigen Fällen hinreichender Bohrapparat besteht nach Bruckmann in folgenden Instrumenten: 2 kleine Meiselbohrer, jeder zu 4 Zoll Durchmesser; 1 kleiner Kreuzbohrer; 1 Bohrbüchse; 1 Schmandlöffel; 1 einfacher Krätzer; 1 Fangscheere; 1 großer Wirbel; 1 kleiner Wirbel; 1 Abfangscheere; 2 Bohrschlüssel; 11 Bohrstangen, jede zu 15 Fuß Länge; 1 Meiselstange, 13½ Fuß lang; 3 Aufsatzstückchen von 2 Fuß, 4 Fuß und 6 Fuß Länge; 1 Bohrkrücke, 2¾ Fuß lang.

Außer dem oben angeführten vollständigen Werke von Bruckmann führen wir hier noch einige andere Werke über denselben Gegenstand an: Vollständiger Unterricht über die Anlage der Bohr- oder artesischen Brunnen rc. von L. Bouer. 2. Aufl. Münster 1831. — Die artesischen Brunnen, ihre Beschaffenheit rc. von Poppe. Tübingen 1831. — Die artesischen Brunnen Ein Versuch von Blume. Dresden 1831. — Anleitung zur Anlegung artesischer Brunnen von Spazier. Lübeck 1832. — Gründliche Anweisung des sichersten, einfachsten und wohlfeilsten Verfahrens beim Bohren von artesischen Brunnen. In Verbindung mit J. A. Gugler bearbeitet von J. Gambihler. Nürnberg 1832. — Zu den älteren Schriften über diesen Gegenstand gehören: Garnier's Preisschrift: De l'art du Fontainier sondeur et de Puits artésiens. Paris 1821. Uebersetzt von Waldauf v. Waldenstein. Wien 1821. — Hericart de Thury: Considerations géologiques et physiques sur la cause du jaillisement de eaux des puits forés ou fontaines artificielles etc. Par. 1829. — Ann. de mines. T. VI. p. 321. — Bulletin de la société d'émulation pour l'Industrie nationale. 1822. Mars. — Annales de l'Industrie. T. II. p. 58. — Journal du génie civil des Sciences et des Arts. 1828. Oct. — Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 592. — Edinb. Phil. Journ. N. S. N. T. XVII. p. 111.

**) Annal. de l'Association de la propagation de la foi etc. Lyon 1829. Janv. — Humboldt's Fragmente einer Geologie und Klimatologie Asiens. Uebersetzt von Löwenberg. S. 89.

Feuerbrunnen genannt. Auf die Oeffnung derselben setzt man ein Bambusrohr, und zündet das aus diesem strömende Gas an (s. d. Art. Gasbeleuchtung), welches ununterbrochen in einer 3 bis 4 Zoll hohen, 1 Zoll dicken bläulichen Flamme brennt. Bei der Bohrung der Salzbrunnen findet man in der Regel in der Tiefe von 1000 Fuß ein harziges Oel, das, wie erzählt wird, auf Wasser brennt. In einem Thale sollen sich besonders 4 sogenannte Feuerbrunnen auszeichnen; sie lieferten früher auch Soole, welches nicht mehr der Fall war.

Der Erste, durch den die Bohrbrunnen bekannter wurden, war Dominicos Cassini *). Er erzählte von Bohrbrunnen zu Modena und Bologna, so wie von solchen in Niederösterreich am Fuße des steiermärkischen Gebirges. An einigen Orten im Gebiete jener Städte, sagt er, gräbt man, um springendes Wasser zu erhalten, die Erde so tief auf, daß sie von der Gewalt des Wassers, welches fließt und von unten drückt, angeschwollen zu sein scheint. Nun erbaut man eine doppelte Schachtmauer, und fährt dann fort in der Richtung derselben weiter zu bohren, bis zu dem Augenblicke, wo man die Quelle anbohrt. Mittelst eines langen Bohrers wird endlich die Wasserdecke durchstoßen. Zieht man nun den Bohrer heraus, so strömt das Wasser mit Heftigkeit hervor, füllt den Schacht ganz aus und bewässert, da es ununterbrochen strömt, alle benachbarten Felder. Cassini hat auch selbst im Fort Urban einen Bohrbrunnen angelegt, dessen Wasser 15 Fuß über die Erdoberfläche sprang.

In Frankreich wurde, wie schon angeführt, die Kunst des Brunnenbohrens zuerst allgemeiner verbreitet und vervollkommnet. Seitdem hat sie sich auch in Deutschland, England und Nordamerika ausgebreitet. In England sind die Bohrbrunnen besonders häufig, wozu vorzüglich der Umstand Veranlassung gab, daß die früher gebräuchlichen Brunnen ein sehr schlechtes, durch verschiedene Substanzen verunreinigtes Wasser gaben, während man aus den Bohrbrunnen meist sehr gutes Wasser gewinnt. Es giebt zu London eigene Bohrbrunnenmeister, welche für festgesetzte Preise in allen Grafschaften Englands Brunnen anlegen. Diese Bohrbrunnen geben bei weitem nicht alle über die Erdoberfläche springendes Wasser, bei vielen müssen Pumpenwerke angebracht werden.

Amerika besitzt viele und zum Theil sehr alte Bohrbrunnen.

Auch in Deutschland giebt es eine größere Anzahl artesischer Brunnen, und unter ihnen wohl den tiefsten in Europa, nämlich den von Neusalzwerk bei Preußisch-Minden, dessen absolute Tiefe $2094\frac{1}{2}$ Par. Fuß beträgt (s. Art. Erde, Bd. II. S. 912).

Nach den Erfahrungen der Brunnenbohrer braucht man sich nicht zu begnügen, wenn man beim Bohren auf eine nur schwach sich erhebende Quelle gekommen ist; sehr häufig findet man beim weiteren Niedergehen noch mehrere Quellen in verschiedenen Tiefen, welche eine größere Druckhöhe zeigen.

Es läßt sich im Allgemeinen folgern, daß Thäler und Ebenen, besonders wenn solche von Bergen nahe oder auch in größerer Ferne umgeben sind, sich zur Anlegung von Bohrbrunnen am meisten eignen, und nicht selten ein erwünschtes Resultat, nämlich Springwasser hoffen lassen. Weniger ist dies der Fall in sehr flachen Gegenden und auf hohen Bergen; denn wenn sich überhaupt in einem

*) Mém. de l'Acad. T. I. p. 96.

Terrain Springquellen in der Tiefe vorfinden, so werden sie an der am tiefsten gelegenen Stelle am höchsten über die Erde steigen. Soll nun einmal in einem Terrain ein Bohrversuch auf Springquellen gemacht werden, so wird man, wenn es anders die Verhältnisse erlauben, immerhin die tiefere Stelle als die geeignetere auslesen, und ein solcher Normalversuch kann als ziemlich sicherer Maßstab für anderweitige Versuche in einer und derselben Gegend dienen, weil man alsdann nach bekanntem Resultate in den Stand gesetzt ist, durch ein einfaches Nivellement zu bestimmen, wie hoch das Wasser auf einem höher oder tiefer gelegenen der Umgegend steigen wird; denn die Erfahrung hat gezeigt, daß der Wasserspiegel der gelösten Bohrquellen in ein und demselben Terrain meist in einer Horizontalebene liegt. Da sich nun die Wasserschichten, welche von einem ursprünglichen Sammelplatze ihre Nahrung erhalten, unterirdisch oft Meilen weit hin erstrecken, so ist der Grund der horizontalen Niveauäußerung leicht einzusehen. Ehe man einen Bohrbrunnen anlegt, erforscht man zuvörderst die Gebirgsformationen und holt die oberflächliche Terrainkunde etwa durch schon gegrabene Brunnen ein. Flötzformationen, überhaupt Thonterrains, sind allen anderen vorzuziehen; denn der Thon ist es hauptsächlich, welcher die Wasser zurückhält. Bohrversuche auf Springquellen können auch auf Anhöhen, wenn solche von noch höheren Bergen umgeben sind, gelingen. Bei Untersuchung einer solchen Anhöhe aber muß man hauptsächlich zu erforschen suchen, ob solche früher durch die Natur keine Wasserdurchbrüche erlitten hat, ob sich nämlich aus dem Abhange oder Fuße derselben keine Quellwasser stürzen, ob sich also keine nachtheiligen Gebirgsklüftungen vermuthen lassen rc. Häufig sind Thäler, deren nächste Anhöhen etwa aus Muschel- oder Jurakalk bestehen, mit Thonmergel- oder Thonschichten bedeckt, was bezüglich der Anlegung von Bohrbrunnen ein günstiger Umstand ist. Das Quellwasser findet sich, wie schon bemerkt, hauptsächlich unter Thon, im Allgemeinen am häufigsten zwischen den Auflagerungsflächen heterogener Gebirgsmassen. Die Keuperformation ist nach der Erfahrung **Bruckmann's** im Allgemeinen der Anlegung von Bohrbrunnen sehr günstig, und man darf mit großer Wahrscheinlichkeit auf das Gelingen der letzteren rechnen, wenn man in ihr operirt. Dieselbe enthält zwischen ihren verschiedenen Auflagerungsflächen, besonders in dem bunten thonigen Keupermergel (zum Theil dunkelrothen eisenschüssigen Mergel), oft in nicht beträchtlichen Tiefen Wasserschichten von meist großer Ausbeute und Steighöhe.

Was die **Temperatur** des Quellwassers betrifft, so ist dieselbe für diejenigen Quellen, welche aus nur geringen Tiefen kommen, veränderlich mit der Temperatur der Atmosphäre. Man erkennt leicht, daß die Quellenwärme einmal eine Function der Temperatur des atmosphärischen Wasserniederschlages sein wird, welche letztere Temperatur wieder abhängig sein muß von der Höhe der Atmosphäre, in der er entsteht, dann aber auch eine Function von der Temperatur der Erdrinde, durch welche das atmosphärische Wasser seinen Weg nimmt. Nun werden die äußeren, sowohl täglichen als auch jährlichen, Temperaturunterschiede, welche durch die Sonnenstrahlen bedingt sind, bei ihrem allmäligen Eindringen in die Erdrinde immer geringer, so daß sie in einer gewissen Tiefe verschwinden, wo dann eine constante Temperatur herrscht, die mit der mittleren Temperatur des betreffenden Ortes an der Erdoberfläche übereinstimmt. Das atmosphärische Wasser aber, das, je nachdem es in größerer oder geringerer Höhe niederfällt oder wohl auch aus schmelzendem Schnee entsteht, bald kälter, bald

70 *

wärmer ist, gleicht, indem es die Erdkruste durchdringt, seinen Temperaturunterschied mit dieser mehr und mehr aus, so daß es endlich mit den tieferen Erdschichten eine constante Wärme gewinnt, die der mittleren Temperatur an dem entsprechenden Orte der Erdoberfläche gleichkommt *). Sinkt das Wasser etwas tiefer als 30 Fuß hinab, ehe es als Quelle wieder hervortritt, so verräth die letztere im Laufe des Jahres nur noch sehr geringe Temperaturunterschiede; das Maximum ihrer Temperatur erreicht sie dann im October, das Minimum derselben im April, und der Unterschied beträgt höchstens 1 bis 2°. Ist die Tiefe noch bedeutender, etwa 36 bis 40 Fuß, so müssen alle Temperaturschwankungen aufhören, und die Quelle wird eine Wärme zeigen, die mit der mittleren Temperatur des Ortes zusammenfällt. Uebrigens ist die Schicht constanter Temperatur, wegen der Beschaffenheit des Bodens rc., nicht allenthalben gleich weit von der Erdoberfläche entfernt, so daß also auch die Tiefe, bis zu welcher das atmosphärische Wasser hinabsinken muß, um eine mit der mittleren des Ortes übereinstimmende Temperatur anzunehmen, nicht überall gleich zu sein braucht. So liegt unter den Tropen, wo die Temperaturunterschiede an der Oberfläche geringer sind, die Schicht constanter Temperatur weniger tief als in den gemäßigten Klimaten. Im Allgemeinen hat man nun auch eine Uebereinstimmung der mittleren Temperatur der Orte mit der gleichbleibenden Temperatur der an ihnen vorkommenden Quellen gefunden. Einige nicht unbedeutende Abweichungen von dieser Regel führten Humboldt **) zu dem Schlusse, daß zwischen 40 bis 45° nördl. Breite und bis 3000 Fuß Höhe beide Temperaturen zusammenfallen, daß aber unter niederern Breiten die Temperatur der Quellen etwas geringer als die mittlere der Luft sei, unter höheren Breiten größer. Die Abweichungen aber, die man auch von diesem Gesetze gefunden hat, sind theils vulkanischen Einflüssen, theils nach L. v. Buch ***) und Kämtz ****) dem Einflusse des Regens zugeschrieben worden, so daß die Quellen wärmer sein müssen bei vorherrschendem Sommerregen und umgekehrt kälter bei vorherrschendem Winterregen.

Man hat die Quellentemperatur auch zur Bestimmung der sogenannten von Kupffer eingeführten Isogeothermen benutzt, die entstehen, wenn man sich die Punkte des Erdkörpers, in denen die Temperatur dieselbe ist, durch Linien mit einander verbunden denkt. Die Bestimmung der Bodentemperatur durch Ermittelung der Quellentemperatur hat zwar zu manchen schätzenswerthen Resultaten geführt, doch ist es immerhin noch von Wichtigkeit geblieben, die Bodentemperatur auch auf anderem Wege direct zu ermitteln (s. Art. Erde, Bd. II. S. 915).

Die nachstehende Tabelle der Quellentemperaturen hat Kämtz in seiner Meteorologie mit Rücksicht auf die Auffindung der Geoisothermen zusammengestellt.

---

*) Vergl. Art. Erde, Bd. II S. 914 ff.

**) Mém. d'Arcueil. T. III. p. 599.

***) Physik. Beschreibung der canarischen Inseln. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 408.

****) Meteorologie. S. 197.

Orte	Breite	Länge	Höhe t.	Temp.	Beobachter
Maypures	5° 14′	—	—	27°,65	v. Humboldt.
Kingston (Jamaica) .	18 0	300° 55′	—	26,67	Hunter.
Cumana	10 27	—	—	25,63	v. Humboldt.
St. Jago (Capverd. J.)	15 0	0 7	—	24,44	Smith.
Congo	9 0 S.	—	227 t.	24,44	Smith.
Darwar	11 28	75 11 0	600	24,24	Christie.
Havannah	23 9	295 22	—	23,50	Ferrer.
Otaheiti	17 30 S.	228 4	—	23,00	A. Erman.
Germa (Sahara) . .	26 30	—	—	22,60	Denham.
Cairo	30 2	48 58	—	22,50	v. Humboldt.
Madera	32 38	0 37	—	18,73	L. v. Buch.
Natchez	31 28	—	—	18,30	v. Humboldt.
Teneriffa	28 30	1 8	—	18,00	L. v. Buch.
Charlestown . . .	33 0	298 35	—	17,50	v. Humboldt.
Capstadt	33 55 S.	36 6	—	17,22	J. Davy.
Paramatta	33 10 S.	—	—	16,39	Brisbane.
Palermo	38 7	31 12	—	16,25	Ungenannter.
Carmeaux	43 0	—	450	13,00	Cordier.
Philadelphia . . .	39 56	302 28	—	12,67	Warden.
New-York	40 40	303 31	—	12,67	v. Humboldt.
Pavia	45 11	26 50	—	12,59	Brugnatelli.
Taganrog	47 12	56 37	—	12,50	Elfingk.
Cincinnati	39 6	—	—	12,45	v. Humboldt.
Nicolajeff	46 50	49 40	—	12,25	Kupfer.
Paris	48 50	20 00	—	11,88	Kupfer.
Rom	41 54	30 8	—	11,88	L. v. Buch.
Gosport	50 48	—	—	11,39	Burney.
Stavropol	45 3	59 39	300	10,81	Kupfer.
Cork	51 54	9 11	—	10,67	Hamilton.
San Francisco (Californien)	37 48	255 34	—	10,63	A. Erman.
Steinbrücke an d. Malka	43 45	—	417	10,62	Kupfer.
Moskovskaja Krepost .	45 3	59 42	—	10,62	Kupfer.
Albany	42 39	—	20	10,56	Greig.
Heidelberg	49 25	26 21	60	10,50	Muncke.
Genf	46 12	23 49	202	10,40	v. Humboldt.
Potsdam	52 20	30 45	—	10,10	Erman.
London	51 31	17 34	—	10,00	Hunter.
Halle	51 29	29 38	—	10,00	Kämtz.
Straßburg	48 35	25 25	—	9,80	Herrenschneider.
Dublin	53 21	11 22	—	9,67	Hamilton.
Basel	47 34	25 15	137	9,50	Merian.
Berlin	52 31	31 4	—	9,50	Erman.
Cambridge (N. A.) .	42 23	17 44	—	9,44	Williams.
Lowville	43 47	75 25	120	9,44	Wahlenberg.
Zürich	47 23	26 12	242	9,40	Wahlenberg.
Keswick	54 33	—	—	9,23	v. Humboldt.
Ernisco	54 48	—	—	9,23	Hamilton.
Altona	53 32	27 26	—	9,12	Schumacher.
Bellycastle	55 12	—	—	8,89	Hamilton.
Abbotshill (Fife) . .	56 10	—	—	8,72	Ferguson.
Colinton bei Edinb. / Ebendaselbst . . .	55 54	14 24	60	8,75 / 8,62	Ungenannter.
Armagh	54 20	—	—	8,61	Hamilton.
Edinburg	55 30	14 30	35	8,61	Roebuck.

Orte	Breite	Länge	Höhe t.	Temp.	Beobachter
Sölvesborg	56° 2′	32° 14′	—	8°,60	Engeström.
Carlscrona	56 6	33 11	—	8,50	Wahlenberg.
Kendal	54 17	—	—	8,45	Dalton.
Warberg	57 6	29 57	—	8,30	Engeström.
Londonderry . . .	55 0	9 52	—	8,28	Hamilton.
Königsberg . . .	54 42	38 9	—	8,16	A. Erman.
Albisrieden . . .	—	—	—	8,00	Wahlenberg.
Söderköping . . .	58 25	34 4	286	7,70	Engeström.
Fayetteville . . .	42 58	—	—	7,60	Field.
Stockholm	59 20	35 44	—	7,50	Engeström.
Christianstad . . .	58 12	31 49	—	7,50	Engeström.
Saratoga	52 10	46 35	—	7,38	Kupfer.
Lubechna Thal . .	Carpath.	—	279	7,23	Wahlenberg.
Faröer Inf. . . .	—	—	—	7,13	Forchhammer.
Nyköping	58 45	34 38	—	7,00	Engeström.
Stockholm	59 20	35 44	—	7,00	Berzelius.
Lägstakrog	59 0	—	—	6,90	Wahlenberg.
Norwegen, Westküste .	60 00	—	—	6,80	Engeström.
Moscow	55 45	55 13	—	6,50	Kupfer.
Engelberg	—	—	—	6,50	Wahlenberg.
Upsala	59 51	35 18	100	6,50	Wahlenberg.
Rigi, Kaltbad . .	—	—	507	6,40	Wahlenberg.
Ullensvang	60 20	—	734	6,25	Hentiberg.
Kasan	55 44	49 30	—	6,25	Kupfer.
Baikhof	56 36	41 4	—	6,21	A. Erman.
Ostaschicha	56 6	62 40	66	6,21	A. Erman.
Guttannen (Alp) . .	—	—	1042	6,20	Wahlenberg.
Petersburg	59 56	47 59	—	6,12	Kupfer.
Wladimir	56 0	57 0	83	6,02	A. Erman.
Kasan	55 48	67 4	16	6,00	A. Erman.
Petersburg	59 54	47 59	—	6,00	A. Erman.
Molde	62 42	23 10	—	6,00	Engeström.
Pilatus	—	—	682	6,00	Wahlenberg.
Hochalp	—	—	637	5,90	Wahlenberg.
Waldai	57 54	50 52	166	5,71	A. Erman.
Dal-Elf-Mündung .	60 30	—	—	5,70	Wahlenberg.
Bergen	60 24	22 57	—	5,70	Bohr.
Kluitschewskaja Selenie	56 18	178 4	66	5,63	A. Erman.
Slatoust	57 0	74 40	60	5,60	A. Erman.
Schwander Allmend. .	—	—	744	5,60	Wahlenberg.
Schwarzberg-Alp . .	—	—	779	5,50	Wahlenberg.
Gefle	60 40	34 43	—	5,50	Wahlenberg.
Kuschwa	58 18	77 52	—	5,27	A. Erman.
Nischni Turinsk . .	58 24	77 52	—	5,25	A. Erman.
Kilmes	56 54	68 48	50	5,00	A. Erman.
Martinsbrunn am Mondberge . . .	—	—	709	5,00	Wahlenberg.
Dreybrunnen (Carp.)	—	—	556	5,00	Wahlenberg.
Abo	60 27	39 58	—	5,00	Leche.
Drontheim	63 30	26 14	—	5,00	Esmark.
Hudtiksvall . . .	61 45	34 48	—	4,80	Wahlenberg.
Botzen (Carp.) . .	—	—	566	4,55	Wahlenberg.
Ufi	57 18	52 54	33	4,40	A. Erman.
Kisnekejewa . . .	54 30	80 0	154	4,38	Kupfer.
Obere Malka (Cauc.)	43 30	—	1283	4,12	Kupfer.

Orte	Breite	Länge	Höhe t.	Temp.	Beobachter
Pilatus	—	—	877	4°,10	Wahleuberg.
Sandsvall	62° 30′	—	—	4,00	Wahlenberg.
Medelpad	62 30	—	—	4,00	Wahlenberg.
Krasnojarsk . . .	56 0	110° 34′	116	3,91	A. Erman.
Staffelberg . . .	—	—	891	3,80	Wahlenberg.
Stavnicza (Carp.) .	—	—	816	3,80	Wahlenberg.
Irkutsk	52 18	121° 52	225	3,75	A. Erman.
Brunni-Alp . . .	—	—	959	3,70	Wahlenberg.
Unalaschka	53 55	—	—	3,60	Chamisso.
Roßboden	—	—	1096	3,50	Wahlenberg.
Räuberbrunnen(Carp.)	—	—	996	3,40	Wahlenberg.
Nischni Tagilsk . .	58 00	77 0	116	3,28	A. Erman.
Jedrowa	57 42	51 16	133	3,12	A. Erman.
Torneo	65 61	41 52	—	3,00	Hellant.
Blanke Alp. . . .	—	—	996	2,95	Wahlenberg.
Bogoslawsk . . .	59 48	78 4	116	2,94	A. Erman.
Umeo	63 50	37 52	—	2,90	Wahlenberg.
Nischnei-Tagilsk . .	58 0	77 0	103	2,88	Kupfer.
Tigil	57 54	175 40	25	2,75	A. Erman.
Werchoturie . . .	58 54	77 52	150	2,65	A. Erman.
Gransele	65 0	—	—	2,60	Wahlenberg.
Ochotsk	59 20	160 54	—	2,50	A. Erman.
Perm	58 0	74 4	30	2,50	A. Erman.
Warsöe	70 15	47 32	—	2,20	Hellant.
Lyksele	64 30	—	100	2,00	Wahlenberg.
Beresow	63 54	82 34	—	2,00	A. Erman.
Bogoslawsk . . .	60 0	80 0	103	1,88	Kupfer.
Werchne-Udinsk . .	51 48	125 22	300	1,88	A. Erman.
Powerotnaja Sopka .	57 12	177 16	271	1,88	A. Erman.
Store, Windeln . .	65 45	—	177	1,80	Wahlenberg.
Troitzko Ssawsk bei Kiächta	50 24	124 10	450	1,76	A. Erman.
Enontekis	68 30	41 30	267	1,70	Wahlenberg.

Während die eben erwähnten Quellen, deren Temperatur der mittleren Lufttemperatur nahe steht, kalte Quellen genannt werden, heißen diejenigen Quellen, welche diese Temperatur übersteigen, warme Quellen (Thermen). Dieselben kommen in den verschiedensten Gegenden der Erde vor, im hohen Norden eben sowohl, wie in den Gegenden um den Aequator, am häufigsten jedoch in vulkanischen Gegenden, mit denen sie, bezüglich ihres Entstehens, im Zusammenhange zu stehen scheinen. Dieselben haben zum Theil eine der Siedhitze nahe kommende Temperatur, viele gewähren aber auch nur den Anblick des Kochens, weil mit dem Wasser eine große Menge Gas ausströmt. Die Thermen kommen wohl ohne Zweifel meist aus einer sehr bedeutenden Tiefe, und daraus erklärt sich auch ihre höhere Temperatur, wenn man bedenkt, daß die Wärme der Erde von der Schicht an, wo die äußeren Temperatureinflüsse verschwinden und eine constante Temperatur obwaltet, mit wachsender Tiefe zunimmt, und zwar so, daß dieselbe auf je 100 Fuß etwa um 1° C. wächst (s. Art. Erde, Bd. II. S. 916). Viele heiße Quellen, die in der Nähe thätiger Vulkane entspringen, empfangen ihre Wärme durch diese, und nach Berze-

lius*) ist es auch sehr wahrscheinlich, daß die Hitze im Innern der bereits erloschenen Vulkane, welche durch eine mächtige Decke am Entweichen verhindert ist, vielen Thermalquellen ihre Wärme mittheilt, eine Ansicht, der Bischof beitritt.

Die Temperatur vieler Thermalquellen hat sich als eine im Verlaufe der Zeit sehr constante erwiesen. So hat sich die Temperatur des Karlsbader Sprudels von 1770, wo sie durch Becher bestimmt wurde, bis 1822, wo sie Berzelius bestimmte, nicht verändert. Auch hat Berzelius dargethan, daß die Temperatur der Quellen von Mont Dore les Bains seit 2000 Jahren nicht niedriger geworden ist. Ein hier von den Römern erbautes Badehaus wurde zu Julius Cäsar's Zeiten benutzt, um in der Quelle unmittelbar nach ihrem Austritte zu baden. Die Temperatur der Quelle beträgt 48°,3 C., und dies ist ungefähr die höchste Temperatur, die ein Badewasser haben kann. Auch die warmen Quellen in den Pyrenäen zeigten 1819 nach einer Ermittelung von Anglada dieselbe Temperatur, die 1754 Carrère fand. — Andere Thermalquellen zeigen eine veränderliche Temperatur, so namentlich diejenigen, welche in der Nähe thätiger Vulkane vorkommen. —

Die artesischen Brunnen verrathen ebenfalls meist eine im Sommer und Winter sich gleichbleibende Temperatur. Das Wasser dieser Brunnen benutzt man in manchen Fabriken als bewegende Kraft, und leitet es wohl auch in offenen Röhren herum, um den Werkstätten dadurch eine gleichmäßige Temperatur zu ertheilen, welche im Sommer unter, im Winter über der der Atmosphäre steht. Man hat auch das Wasser der artesischen Brunnen benutzt, um im Winter die Gartenpflanzen vor dem Froste zu schützen und um Wintergärten anzulegen. Endlich gebrauchte Bruckmann dieses Wasser noch, um Wasserräder von dem Eise frei zu halten, indem er oberhalb der Räder hölzerne durchlöcherte Röhren anbringen ließ, in die er das Wasser eines benachbarten artesischen Brunnens leitete, welches auf die Räder träufelte. Die Räder beeisten nun auch bei der strengsten Kälte nicht mehr, und die vorher beeisten Räder waren in wenigen Stunden vom Eise befreit. Hierzu wurde dasselbe Wasser verwendet, welches schon vorher zur Heizung in angegebener Weise gedient hatte.

Eine, die gewöhnliche, wenn auch nur um ein weniges, übersteigende Temperatur zeigen nach der Erfahrung fast alle Salzquellen.

In folgender Tabelle sind die Temperaturen einiger warmen Quellen Europas zusammengestellt.

Namen der Orte	Temperat.	Namen der Orte	Temperat.
Warmbrunn in Schlesien .	37°,5 C.	Wolkenstein im Erzgeb. .	30° C.
Teplitz	47°,5	Wildbad in Würtemb. .	33°
Wiesbaden	48 bis 65°	Burtscheid am Niederrhein	44 bis 53°
Karlsbad.	34 bis 75°	Wildbad Gastein in Steiermark	48°,75
Kappenhardt im Würtemb.	23°,75	Ems in Nassau	22°,5; 42°,5 und 50°
Liebenzell bei Wildbad . .	24°		
Hubbad in Baden . . .	36°		

*) Gilbert's Ann. Bd. LXXIV. S. 174. 179.

Namen der Orte	Temperat.	Namen der Orte	Temperat.
Badenweiler	23° C.	Plombières in Frankreich	50 bis 60° C.
Bude bei Chemnitz	70°	St. Gorraise	35 bis 36°
Krapin in Mähren	37°,5	Aix les Bains	56°
Aachen	46 bis 57°	Saute de Pucelle	34°
Martini Bagno	47°,5	Chaudes-Aigues Dep. Du Cantal	70 und 80°
Schlangenbad	27°,5		
Petersthal in der Lemb.	37°,5	Digne Dep. Des Basses Alpes	50°
Baden-Baden	67 bis 75°		
Geiser auf Island	98°,33	Caudies bei Perpignan	27°,5
Warasdin in Kroatien	75°,5	Lamoth im Dep. Isère	80°
Glashütte in Ungarn	53°,75	Bath in England	40 bis 50°
Batz in Siebenbürgen	31°,25	Albano	30 bis 50°
Leuk } in der Schweiz	50°	Acqui Piemont	51 bis 64°
Massino } in der Schweiz	33°,75	Castelamare	40°
St. Martino } in der Schweiz	47°	Guitara	35 bis 54°
Baden } in der Schweiz	40 bis 50°	Lucca	30 bis 54°
Pfäffers in St. Gallen	44°	Franceschi	53°,75
Aci auf Sicilien	41°,25	St. Giulieno	31 bis 38°
Termini auf Sicilien	51°,25	Sardara	44 bis 50°
Cefalu „ „	49°,5	Pisa	43°,75
Sciacca „ „	52°,5	Piscarelli des Agnano-Sees	93°
Lureuil im Depart. Haute Saone	54°	Las Trincheras bei Valencia	90°
Bourbonne les Bains	71°,25	Quellen der Terekgruppe am Kaukasus	56°,25 bis 88°,75
Chaudes Eaux } in den Vogesen	24°		
Becour } in den Vogesen	24°		

Auch in Amerika, Asien und Afrika giebt es heiße Quellen; so z. B. auf St. Miguel (Azoren) einige, welche eine Temperatur von 88° und sogar 100° C. haben. —

Es ist natürlich, daß das atmosphärische Wasser, während es seinen Weg durch das Erdreich und Gestein nimmt, mancherlei Stoffe in sich aufnehmen muß. Das schlechteste Wasser liefern die Quellen, die sich auf dem flachen Lande als Ansammlungen des aus der Atmosphäre sich niederschlagenden Wassers bilden. Indem das Wasser derselben durch den mit Pflanzen bewachsenen Boden dringt, nimmt es viele organische Bestandtheile in sich auf, die ihm einen unangenehmen Geschmack ertheilen. Aber auch das Wasser vieler anderer Quellen ist nicht frei von organischen Beimischungen, wie man schon daraus sieht, daß sich bei längerer Aufbewahrung (z. B. auf den Schiffen in Tonnen) ein Gährungsproceß einstellt. Das Wasser wird dann etwas trübe und nimmt einen unangenehmen Geschmack an; nachher schlagen sich aber nicht selten die durch die Gährung zersetzten organischen Substanzen als Bodensatz nieder, so daß dann das Wasser von ihnen gereinigt ist. Das reinste Wasser liefern diejenigen Quellen, welche aus dem über Urgebirgsarten gelagerten Sandstein entspringen, indem sie wenig oder keine Bestandtheile enthalten, außer etwas atmosphärischer Luft mit einigem Ueberschusse an Sauerstoff und wenig kohlensaures Gas. Es ist bekannt, daß das Wasser für verschiedene Gase ein mit dem Drucke und der Temperatur verschiedenes Absorptionsvermögen (s. Art. Absorption) besitzt. Die sogenannte Frische des Wassers ist nun außer einer gewissen Temperatur vorzugsweise bedingt durch einen

Gehalt an Kohlensäure, durch deren Entweichen das Wasser einen faden Geschmack erhält. Der Unterschied zwischen hartem und weichem Wasser ist ebenfalls durch beigemischte Substanzen bedingt, worüber der Art. Wasser zu vergleichen ist.

Die Mineralwasser enthalten aufgelöste Substanzen in größerer Menge, und führen nach den besonders in ihnen vorherrschenden Substanzen verschiedene Namen. Diejenigen, welche mehr oder weniger stark mit Kohlensäure beladen sind, nennt man Säuerlinge oder Sauerbrunnen. In verschiedenen Gegenden, welche Säuerlinge enthalten, steigt die Kohlensäure auch getrennt von den Quellen aus der Erde empor, so namentlich an Orten, welche Schauplatz vulkanischer Thätigkeit waren oder noch sind. Es ist daher wahrscheinlich, daß das Quellwasser auf seinem Wege mit der aufsteigenden Kohlensäure zusammentrifft und sich damit beladet, wobei denn auch die Tiefe, in der das Zusammentreffen der Kohlensäure- und Wasserquelle stattfindet, von Bedeutung für die Menge der absorbirten Kohlensäure sein muß; denn von dieser Tiefe ist der Druck abhängig, welchem die Kohlensäure ausgesetzt ist. Je stärker aber dieser Druck ist, desto größer ist die Menge Kohlensäure, welche das Wasser bei gleichem Volumen aufnimmt (s. Art. Absorption). Beim Steigen des Wassers wird die absorbirte Kohlensäure in dem Maße, als der Druck sich verringert, frei und erscheint dann in der Form mehr oder weniger großer Blasen.

Nach Osann *) enthalten ausgezeichnete Säuerlinge in 16 Unzen oder $^1/_{66}$ preuß. Cubikfuß Wasser 30 bis 60 Cubikzoll freie Kohlensäure, sehr reichhaltige 20 bis 30, weniger reiche 20 bis 10 Cubikzoll. Nach Bischoff entwickelt in der Eifel eine Quelle in 24 Stunden 4237 Cubikfuß Gas und die gleichzeitig ausfließenden 1157 Cubikfuß Wasser enthalten 1909 Cubikzoll Gas. Bekannte Säuerlinge sind: Godelheim, Rohitzsch, Pyrmont, K. Franzensbad, Brückenau, Fachingen, Kissingen, Selters, Spaa. Man unterscheidet die ächten Säuerlinge, die neben der vorherrschenden Kohlensäure nur geringe Mengen anderer Stoffe enthalten, von den unächten, die noch dazu mehr oder weniger reich an Alkalien und alkalischen Erden sind und dadurch einen etwas laugenhaften Geschmack gewinnen. Zu diesen sogenannten alkalischen Säuerlingen gehören Selters, Geilnau, Fachingen, Schwalbach, Ems, Teplitz, Spaa, Karlsbad, Pfäffers, Wiesbaden, Baden-Baden ꝛc. Unter den Alkalien tritt namentlich kohlensaures Natron vorwaltend auf, hiernach wohl auch schwefelsaures Natron (Glaubersalz) und Chlornatrium (Kochsalz), und die alkalischen Erden sind vorzugsweise durch Kalk- und Bittererde vertreten.

Die sogenannten Eisensäuerlinge oder Stahlwasser sind ausgezeichnet durch einen Gehalt von kohlensaurem Eisenoxydul, der ihnen einen zusammenziehenden Geschmack verleiht. Diese Wasser scheiden an der Luft Eisenoxyd aus, das die Oberfläche mit einem dünnen, fettig aussehenden Häutchen überzieht und einen gelben Bodensatz liefert. Franzensbad, Pyrmont, Brückenau, Riepoldsau ꝛc.

Salzquellen, welche durch einen vorwiegenden Gehalt an Kochsalz charakterisirt sind, kommen vielfach vor. Diese Quellen, die man auch bei sehr vorherrschendem Salzgehalt Soolen nennt, enthalten an verschiedenen Orten das Salz in sehr verschiedenen Mengen. Viele von ihnen enthalten auch geringe

*) Die Heilquellen Europa's, 1839.

Mengen von Jod und Brom. — Seltner sind die **Bitterwasser** (Sedlitz und Saidschütz in Böhmen ꝛc.), die ihren Namen einem gewissen Gehalt von schwefelsaurer Bittererde verdanken.

Die **Schwefelwasser** erhalten ihre charakteristische Eigenthümlichkeit durch einen gasförmigen Bestandtheil, nämlich durch Schwefelwasserstoffgas, das nach **Bischoff** aus der Wechselwirkung von Schwefelalkalien und heißen Wasserdämpfen oder kohlensäurehaltigem Wasser hervorgehen soll, während die Schwefelalkalien durch die gegenseitige Zersetzung organischer Körper und schwefelsaurer Salze (Gyps) entstehen. Es giebt kalte und heiße Schwefelquellen, die ersteren nicht selten in der Nähe von Braunkohlenlagern. Die Schwefelwasser haben wegen ihres Gehaltes an Schwefelwasserstoffgas einen süßlichen Geschmack und einen Geruch nach faulen Eiern. — Warmbrunn in Schlesien, Baden bei Wien, Gastein, Burtscheid, Aachen, Wildbad, Nenndorf, Albano, Bagnères de Luchon, Barèges ꝛc.

Salpeterquellen finden sich nur selten vor. In der Nähe von Städten, Viehweiden und dergleichen, wo der Boden mit vielen animalischen Bestandtheilen versehen wird, theilt sich wohl Salpeter als Verwesungsproduct des thierischen Stickstoffes dem Quellwasser mit. Sonst kommen eigentliche Salpeterquellen in Ungarn und Siebenbürgen vor. Quellen mit schwefelsaurem Kupfer (Kupfervitriol) oder sogenannte **Cementquellen** giebt es ebenfalls in Ungarn, auch bei Altenberg im sächsischen Erzgebirge, am Rammelsberg, bei Goslar und zu Fahlun in Schweden. Eisen, das man in solche Quellen taucht, wird mit einer Kupferhaut überzogen. — Auch enthalten manche Quellen einiges Eisen- und Zinkvitriol.

Borsäurehaltige Quellen existiren ebenfalls, so bei Siena und auf Ischia und in Toskana an vielen Stellen der Maremmen. —

Incrustirende Quellen nennt man diejenigen Quellen, welche Gegenstände, die man in sie hineintaucht, allmälig mit einer Kalk- oder Kieselrinde überziehen. Kohlensäurehaltiges Wasser löst auf seinem Wege kohlensauren Kalk auf, den es, wenn die Kohlensäure entweicht, fallen läßt. Solche Wasser finden sich zu Karlsbad, Tours, Teverone bei Tivoli ꝛc., welche letztere Quelle Basreliefs, die man ihr aussetzt, sehr genau und fein abformt. Der bekannte Erbsen-, Tropf- und Tuffstein (Travertin in Italien) gehört ebenfalls hierher. Als besonders merkwürdig führt man in dieser Beziehung an die Quelle von Huanca velica, 30 Meilen von Lima in Peru, welche durch Verdunstung ihres Wassers so viele feste Theile dergestalt absetzt, daß dieselben als Quadersteine zu Bauten benutzt werden können.

Manche heiße Quellen, wie die auf Island, enthalten größere Mengen aufgelöster Kieselsäure, die sich an der Luft beim Erkalten des Wassers in der Form von Kieselsinter oder Kieseltuff absetzt.

Quellen, welche freie Mineralsäuren, wie Schwefel- und Salzsäure enthalten, finden sich in der Nähe von Vulkanen. Endlich sind noch von Interesse die Quellen, aus denen **Naphta** und **Erdöl** quillt und diejenigen, auf deren Wasser **Bergtheer** und **Asphalt** schwimmt. Bei der Insel Abnheron im kaspischen Meere kommt die schönste Naphta vor, welche hell und wohlriechend ist und leicht mit vielem Ruße verbrennt. Außer dieser hat man 1803 noch eine Quelle entdeckt, welche eine fast eben so gute Naphta liefert, nämlich zu Amiana

in Parma bei Josnovo und Varese. Quellen, welche außer dem Wasser Bergöl oder Bergtheer enthalten, giebt es sehr viele, selbst in Europa, namentlich in Ungarn am Fuße der Karpathen, in Galizien, Rußland und auch an verschiedenen Orten Deutschlands. Weit bedeutender sind jedoch die Bergölquellen in Asien, namentlich bei Baku in der Nähe des kaspischen Meeres. Das Bergöl wird von den Persern allgemein als Brennmaterial benutzt. In den Tigris ergießen sich mehrere Quellen von Naphta, das auf dem Flusse schwimmt. Im Golf von Bengalen wird aus 560 Brunnen Erdöl gewonnen. —

Nach den bereits gegebenen Andeutungen entstehen die Mineralwasser rücksichtlich ihrer beigemengten Bestandtheile in Folge eines Auflösungsprocesses, der zwischen gewissen Bestandtheilen der Gebirgsarten und dem Wasser, das durch die letzteren seinen Weg nimmt, stattfindet. Diese Ansicht bietet sich als die natürlichste gewissermaßen von selbst dar, wie denn auch die Gebirge in vielen Fällen nachweislich gerade die Bestandtheile enthalten, die in den aus denselben entspringenden Mineralquellen sich vorfinden *). Die beträchtlichen Quantitäten von Mineralsubstanzen aber, welche viele Mineralquellen, wie die Karlsbader, während langer Zeiträume alljährlich in gleicher Menge liefern, können dennoch zu großartigen Höhlungen im Innern der Gebirge keine Veranlassung geben, selbst dann nicht, wenn alle Mineralbestandtheile an einem Orte beisammen wären, was jedoch höchst unwahrscheinlich ist. Hoff fand auf dem Wege der Rechnung, daß der Rauminhalt der im Laufe eines halben Jahrtausends weggeführten festen (Karlsbader) Mineralmassen erst dem eines Würfels von 410 Par. Fuß gleich sein würde, unter der Voraussetzung nämlich, daß diese Mineralmassen an einem einzelnen Orte zusammenlägen, während sie in der Wirklichkeit wohl jedenfalls zerstreut vorkommen. Eine solche Höhlung ist in Rücksicht auf das Areal der Stadt Karlsbad und die Höhe der das Thal einschließenden Bergwände eine unbedeutende Größe, zumal wenn man bedenkt, daß die Mineralquelle nur aus einer sehr beträchtlichen Tiefe gelangen kann. Ueberdies werden aber, wie schon bemerkt, die festen Mineralbestandtheile nicht beisammen vorkommen, so daß überhaupt eine Höhlenbildung nur ausnahmsweise in beträchtlicher Größe vorkommen wird. Der unveränderliche Gehalt der Mineralquellen während längerer Zeiträume hat, namentlich bei einem ausgedehnten Wurzelsysteme und so lange sich dem Quellwasser dieselben Gebirgsarten zum Auslaugen darbieten, nichts Auffallendes. Doch ist bei verschiedenen Mineralquellen auch eine Veränderlichkeit ihrer Bestandtheile nachgewiesen. Auch läßt die künstliche Darstellung der Mineralwasser keinen Zweifel darüber, daß der Ursprung der Mineralquellen in der angedeuteten Weise

---

*) Vergl. Bischoff: Die vulkanischen Mineralquellen Deutschlands und Frankreichs. Bonn 1826. Schweigg. Jahrb. Bd. IV. S. 377; Bd. VI. S. 125. 223 ꝛc. Patissier, manual des eaux minérales de la France, 1818. Berzelius, die Mineralwasser von Karlsbad, Teplitz und Königswerth, 1823. Stucke, von den Mineralquellen im Allgemeinen und Zusammenstellung der bekannteren Deutschlands, der Schweiz und angrenzenden Länder, 1831. Rüsch, die Mineralquellen und Bäder der Schweiz, 1832. Longchamp, mémoires sur les eaux minérales, 1835. Daubeny, rapport sur les eaux minérales et thermales, Instit. 1836. Löwig, die Mineralquellen von Baden, 1837. Vetter, theoretisch praktisches Handbuch der Heilquellenlehre, 1838. Simon, die Heilquellen Europa's, 1839. Osann, die Heilquellen Europas, 1839. Humboldt, Kosmos, Bd. I. S. 228 ff.

wesentlich auf einem Auflösungsprocesse beruht, worüber der Art. Mineralwasser, künstliches, Bd. IV. S. 1075 zu vergleichen ist. —

Es ist bereits hervorgehoben, daß der Wasserreichthum einer Quelle sowohl von der Gestaltung und Structur des Bodens als auch von klimatischen Einflüssen, d. h. hier von den atmosphärischen Wasserniederschlägen abhängen muß. Ist das Wurzelsystem einer Quelle sehr ausgedehnt und reich verzweigt, so mögen immerhin bei anhaltendem trocknen Wetter einzelne Zweige oder Wasseradern ganz versiegen, es werden noch genug Zweige übrig bleiben, um die Quelle lange Zeit hindurch (bis zum Eintritt des nächsten Regens) in ungeschwächter Kraft zu erhalten. Ist dagegen das Wurzelsystem einer Quelle weniger ausgedehnt und verzweigt, so wird sie verhältnißmäßig vom Wetter abhängig sein, und kann sogar in heißen Sommern versiegen. Hierher gehören diejenigen, die aus geringen Höhen ihr Wasser erhalten, wogegen solche, welche aus einer bedeutenden Tiefe kommen, wie die meisten Mineralquellen und auch die artesischen Brunnen, durch die Beständigkeit ihres Wasserreichthums ausgezeichnet sind. Auch manche Quellen, die aus Gletschern entspringen, zeigen immer eine gleiche Wassermenge, insofern der wärmere Boden stets eine gleiche Menge Eis und Schnee aufthaut. Quellen, welche ihr Wasser von geschmolzenem Schnee erhalten, haben gerade im Sommer, wo der Schnee auf den Gebirgen schmilzt, ihren reichlichsten Zufluß.

Auf dem Flachlande, so hier und da im nördlichen Deutschland, treten vorzugsweise in Niederungen und nassen Gegenden Quellen im Frühling (gewöhnlich im Mai) hervor, die einige Monate fließen und dann versiegen. Man nennt sie Maibrunnen, auch Hungerquellen, und sieht sie, wenn sie besonders reichhaltig sind, als Vorzeichen von Mißwachs an. Man leitet dieselben daraus ab, daß der Boden, wenn er im Frühling nach einem schneereichen Winter von Feuchtigkeit durchdrungen ist, das Schneewasser der nächsten Erhöhungen nicht mehr aufnehmen kann, so daß denn auch der Boden naß und kalt bleibt. Bringt nun noch gar der Frühling und Sommer viel Regen, so erkennt man leicht, daß solche Quellen, die in trockneren Jahren ganz fehlen, auch längere Zeit andauern können.

Manche Quellen an den Küsten des Meeres zeigen wie dieses gewissermaßen Ebbe und Fluth, ohne doch von demselben ihr Wasser, das süß ist, zu empfangen. Vielmehr entsteht die Quelle auch hier aus dem atmosphärischen Wasser auf die angegebene Weise; sie steht jedoch mit dem Meere in Verbindung. Da das süße Wasser specifisch leichter als das Meerwasser ist, so muß es in dem Arm, in welchem es zu Tage tritt, höher stehen als das Wasser des Meeres, wenn das hydrostatische Gleichgewicht stattfinden soll. Wenn nun die Quelle durch einen tiefer gelegenen Arm mit dem Meere in Verbindung steht, so wird das Quellwasser in dem aufsteigenden Arme sinken müssen, sobald das Meerwasser beim Eintritt der Ebbe sinkt, während der Ueberschuß des Quellwassers ins Meer fließt. Eben so leicht ersieht man nun, daß das Quellwasser zur Fluthzeit steigen muß. — Doch giebt es in der Nähe der Meeresufer auch Salzquellen, welche aus dem Meere durch den Sand herbeifließen.

Außer den Quellen, welche wechselnd stark und schwach fließen, giebt es hie und da auch solche, welche in mehr oder weniger langen oder kurzen Zwischenzeiten abwechsend fließen und nicht fließen. Derartige Quellen nennt man intermittirende. Sehr bekannt in dieser Beziehung war früher der Bullerborn

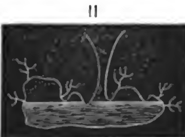
bei Paderborn, der 6 Stunden lief und dann eben so lange aussetzte. Eine Quelle bei Nimes fließt 7 Stunden und bleibt 5 Stunden aus, läuft aber bei regnerischem Wetter beständig. Bei Fontestorbe im Depart. de l'Arriège fließt eine Quelle abwechselnd $36^1/_2$ Minuten und setzt dann wieder $32^1/_2$ Minuten aus; bei eintretender nasser Witterung fließt sie dagegen fortwährend, und ein zwei- bis dreitägiger Regen veranlaßt einen Ausfluß von 12 Tagen, wornach sie wieder zur gewöhnlichen Intermittenz zurückkehrt. Eine Quelle beim See Bourguet in Savoyen setzt in 24 Stunden zweimal aus, und eine andere in Perigueux, Depart. der Dordogne, tritt jeden Morgen um 9 Uhr aus und hört nach etwa 2 Stunden wieder zu fließen auf rc.

Was nun die Ursache dieser Intermittenz betrifft, so kann dieselbe, je nach der Oertlichkeit, bei verschiedenen Quellen dieser Art eine verschiedene sein, wie man dies auch schon frühzeitig erkannt hat *). Quellen, die mit einer reichlichen Gasentwickelung verbunden sind, können durch eine Anhäufung von Luftblasen, andere aber auch durch eine Anhäufung von Sand eine Zeit lang völlig an ihrem Hervortreten gehindert werden. Die Intermittenz solcher Quellen dagegen, deren Periode von längerer Dauer ist, hat man auf heberförmige Kanäle zurückgeführt, die mit Wasserbehältern in Verbindung stehen. Es sei A in beistehender Fig. I. ein solcher Behälter, der mit dem heberförmigen, aber sonst beliebig gestalteten Kanal a b c communicirt. Sobald nun das Wasser in diesem Behälter über den Punkt b gestiegen ist, wird sich der Heber (s. d. Art.) a b c füllen und das Wasser aus dem Behälter vollständig ausfließen, so daß dasselbe erst wieder nach einiger Zeit, nachdem der Behälter sich wieder gefüllt hat, zum Ausflusse gelangen kann. — Bei anderen intermittirenden Quellen hat man an die Spannkraft von Wasserdämpfen gedacht, welche sich allmälig in dem oberen Theile eines Wasserbehälters ansammeln und das Wasser durch den verticalen Kanal (s. Fig. II.), wie aus einem Heronsballe (s. d. Art.) in die Höhe treiben sollen. Da nun die Spannkraft der Wasserdämpfe, um dies zu bewirken, ein gewisses Maximum erreicht haben muß, so kann natürlich der Ausfluß nur intermittirend geschehen. Diese Erklärung sollte namentlich für die heißen Quellen gelten, welche ihr Wasser in bestimmten Zwischenräumen emporsenden. Jedoch haben neuere, namentlich von Bunsen **) in Gemeinschaft mit Des Cloizeaux angestellte Untersuchungen der Geiser Islands eine andere Erklärungsweise zur Geltung gebracht.

I



II



Der Geiserbezirk liegt am Rande der großen Gletscherwüste, welche das Hochplateau der Insel bildet, fast genau südwestlich von der höchsten Spitze des Hekla,

*) Siehe Muschenbroek: Introd. T. II. §. 2379. Desaguliers, Exp. Phil. T. II. p. 173. Nicholson's Phil. Journ. T. XXXV. p. 178. Ferguson, lectures on select subjects cet. Lond. 1790. Suppl. p. 20. Dutrochet, Ann. chem. et phys. T. XXXIX. p. 230.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 159.

und ist von dieser in gerader Linie nur ungefähr fünf geographische Meilen entfernt. Der große Geiser (von geysar, wüthen) und der in seiner Nähe durch ein Erdbeben entstandene neue Geiser (oder Strockr) sind nun die merkwürdigsten heißen Quellen Islands. Die Orte, wo die Geiser hervortreten, erscheinen als runde Becken, die sich trichterförmig verengen und mit kieselartigen Inkrustationen bekleidet sind, die sich aus dem Wasser niedergeschlagen haben. Im Mittelpunkte des Beckens befindet sich eine cylindrische Röhre mit geneigtem Boden, die beim großen Geiser etwa 70 Par. Fuß hoch und 8 bis 10 Fuß weit ist. Das Becken liegt auf der Spitze eines kleinen konischen Hügels, das vom Kieseltuff der Quelle gebildet ist. Dieses Becken ist unter den gewöhnlichen Umständen mit klarem, grünem und siedendem Wasser erfüllt, das durch mehrere Rinnen abfließt, wenn das Becken voll ist. Wie man erzählt, so geht ein unterirdisches rollendes Getöse den Eruptionen der Quelle voraus. Dabei wird das Wasser unruhig, es schäumt wild auf und zeigt eine convexe Oberfläche. Alsdann erheben sich dichte Dampfwolken, die das Bassin kurze Zeit einhüllen. Nachdem diese Vorgänge sich eine Zeit lang wiederholt haben, schwillt das Wasser im Bassin stärker an, es erheben sich in der Mitte große Dampfblasen, und bald folgt ein Wasserstrahl von 8 bis 100 Fuß Höhe, der staubartig zertheilt erscheint, und dem bald noch mehrere und höhere nachfolgen. Diese Erscheinung dauert nur kurze Zeit, und nach ihrem Aufhören erscheint das Becken leer. Unmittelbar nach erfolgter Eruption steigt das 1 bis 2 Meter tief in der Röhre stehende Wasser allmälig während einiger Stunden bis an den Rand des Beckens, wo es ruhig in der Gestalt einer kleinen Cascade über den Konus abfließt.

Die die Röhre erfüllende Flüssigkeitssäule wird fortwährend von unten durch eindringendes Wasser von hoher Temperatur erhitzt, während es oben an dem Wasserspiegel des Beckens eine fortwährende Abkühlung erleidet. Auch ist in der Röhre ein doppelter, auf- und absteigender Strom zu erkennen, der im Centrum der Röhre als erhitzte Flüssigkeitssäule empordringt, sich an der Oberfläche des Beckens gegen den Rand desselben hin verbreitet, und nach der Abkühlung am Boden des Bassins in die Röhre zurückfließt. Thermometrographische Messungen von Bunsen und Des Cloizeaux ergaben, daß die Temperatur der Geisersäule, wie schon Bottin und Robert beobachteten, von unten nach oben abnimmt; daß 2) kleine Störungen abgerechnet, die Temperatur an allen Punkten der Säule mit der nach der letzten Eruption verflossenen Zeit in stetem Steigen begriffen ist; daß 3) dieselbe an keinem Punkte selbst bis einige Minuten vor der großen Eruption in der ruhenden Wassersäule den Kochpunkt erreicht, der dem Atmosphären- und Wasserdruck am Orte der Beobachtung entspricht; daß 4) die Temperatur in der mittleren Höhe des Geiserrohres dem daselbst der drückenden Wassersäule entsprechenden Kochpunkte am nächsten liegt, und um so näher rückt, je mehr der Zeitpunkt einer großen Eruption herannaht.

Faßt man zunächst die Periode ins Auge, welche der Eruption unmittelbar vorangeht, so ergiebt sich, daß nur ein sehr geringer Anstoß nöthig ist, um einen großen Theil der Wassersäule plötzlich ins Kochen und in Eruption zu versetzen. Jede Ursache nämlich, welche diese Wassersäule nur um einige Meter emporhebt, muß diese Wirkung zur Folge haben, indem dadurch irgend eine nun unter einem geringeren Druck befindliche Wasserschicht jetzt mehr oder weniger über den entsprechenden Kochpunkt des Wassers zu liegen kommt. Dieser Ueberschuß wird

daher sogleich zur Dampfbildung verwendet und erzeugt eine Dampfschicht, um deren Höhe die sämmtlichen Druckkräfte abermals verringert werden. Durch diese Druckverminderung wird ein neuer, namentlich auch tiefer liegender Theil der Wassersäule über den Kochpunkt versetzt; es erfolgt eine neue Dampfbildung, die abermals eine Verkürzung der drückenden Flüssigkeitsschichten zur Folge hat, und so in ähnlicher Weise fort, bis das Kochen von der Mitte des Geiserrohres bis nahe an den Boden desselben fortgeschritten ist, vorausgesetzt, daß nicht andere Umstände diesem Spiele schon früher ein Ziel setzen. Die Wassersäule im Geiserrohre geräth hiernach vom Mittelpunkt aus auf eine gewisse Erstreckung hin plötzlich ins Kochen, wird durch den dabei gebildeten Dampf gehoben und gelangt successive unter den Druck einer Atmosphäre. Ueberdies hat Bunsen durch eine einfache Rechnung nachgewiesen, daß die bei diesem plötzlich eintretenden Verdampfungsproceß entwickelte mechanische Kraft mehr als hinreichend erscheint, um die ungeheure Wassermasse des Geisers bis zu der erstaunenswerthen Höhe emporzuschleudern, welche diesem schönen Eruptionsphänomen einen so großartigen Charakter verleiht. Es läßt sich nämlich die Größe dieser Kraft leicht ermessen, wenn man aus den angestellten thermometrographischen Versuchen mit Hülfe der latenten Wärme und des specifischen Gewichtes des Wasserdampfes die Dampfmenge berechnet, welche beim Aufsteigen eines Abschnitts der Wassersäule bis zur Mündung des Geiserrohres in Freiheit tritt.

Die sich hieraus ergebende sehr bedeutende Kraft kann sich nicht in einem einzigen Eruptionsstrahle erschöpfen, da die in der Luft abgekühlten Wasserstrahlen des Ausbruchs fortwährend in das Geiserrohr zurückstürzen und die Kraft der empordringenden Dampfsäule auf Augenblicke dadurch unterbrechen, daß der Dampf in dem abgekühlten zurückstürzenden Wasser so lange condensirt wird, bis die Temperatur des letzteren wieder auf den Kochpunkt gestiegen ist, und es dadurch von Neuem die Fähigkeit erlangt, emporgeschleudert zu werden. Auch strömt das Wasser zwischen den einzelnen emporsteigenden Strahlen aus dem Bassin in die Röhre zurück, und wird auf Augenblicke selbst mit Gewalt von derselben eingesogen.

Die Ursache nun, durch welche die Wassersäule jene Hebung erleidet, die den ersten Anstoß zur Eruption giebt, stellt sich folgendermaßen heraus. Wie ein großer Theil der isländischen Thermen, so zeigt auch der große Geiser die leicht erklärliche Eigenthümlichkeit, daß sich periodisch an gewissen Stellen in dem Wasser des Quellenbassins eine Anzahl großer Dampfblasen bildet, die bei dem Aufsteigen in eine obere kältere Schicht plötzlich wieder condensirt werden. Es entsteht dadurch stets eine kleine Detonation, die von einer halbkugelförmigen Hebung und gleich darauf wieder erfolgenden Senkung der Wasseroberfläche begleitet ist. Diese Detonationen nehmen erst 4 bis 6 Stunden nach einer großen Eruption ihren Anfang, und wiederholen sich dann in Zwischenzeiten von 1 bis 2 Stunden bis zum nächsten Ausbruche, dem sie stets in rascher Folge und großer Heftigkeit unmittelbar vorangehen. Die Periodicität dieser Detonationen ergiebt sich leicht aus dem Umstande, daß, wenn in den Zuführungskanälen des Geiserrohres eine Wasserschicht unter dem andauernden Einflusse der vulkanischen Bodenwärme ins Kochen geräth, und der gebildete Dampf bei dem Aufsteigen in die höheren kälteren Schichten wieder condensirt wird, die Temperatur dieser kochenden Schicht durch die in ihr stattgehabte Dampfbildung so weit erniedrigt wird, daß sie nach

der Condensation der im Wasser aufsteigenden Dämpfe wieder dem ursprünglichen höheren Druck ausgesetzt, eine längere Zeit nöthig hat, um von Neuem bis zum Siedepunkte erhitzt zu werden. Die hierdurch bewirkte periodische Hebung der Wassersäule im Geiser pflegt, der durchschnittlichen Wassermasse nach zu urtheilen, welche dabei aus der Mündung der Röhre in Gestalt eines conischen Wasserberges hervordringt, selten mehr als 1 bis 2 Meter zu betragen. Eine solche Hebung vermag jedoch nicht eher eine Wasserschicht in eine Höhe zu versetzen, wo sie in Folge der daselbst stattfindenden Druckverhältnisse ins Kochen gerathen könnte, bis die Wassermasse durch allmälige Erhitzung die etwas höhere Temperatur angenommen hat, welche einige Minuten vor der wirklich eintretenden Eruption in der That beobachtet wurde. Alle übrigen, dieser Periode vorangehenden, Hebungen dagegen werden nur dazu dienen, die unteren erhitzten Wassermassen durch Stoß in den oberen Theil der Geiserröhre theilweise emporzutreiben, wo diese Massen unter dem verminderten Druck ins Kochen gerathen, und die kleinen, mit Eruptionen verbundenen Aufkochungen bewirken, die man zwischen den größeren Ausbrüchen beobachtet. Diese kleinen Eruptionen sind daher gleichsam mißlungene Anfänge der großen, die sich von dem Ausgangspunkte der Dampfbildung, wegen der noch zu niedrigen Temperatur der Wassersäule, nur auf kurze Erstreckungen hin fortpflanzen können.

Der Strokkr bietet nach Bunsen einige Eigenthümlichkeiten in seinem Baue dar, die auf seinen Mechanismus von besonderem Einfluß sind. Das Rohr ist nur 13^m,55 tief, und nicht wie bei dem Geiser cylindrisch, sondern in der Art trichterförmig, daß sein Durchmesser an der Mündung 2^m,4, in einer Tiefe von 8^m,3 aber nur noch 0^m,26 beträgt. Das Wasser, dessen Niveau 3^m bis 4^m,5 unter der Mündung steht, hat keinen Abfluß, und wird nur durch die Eruptionen entleert. Da die gesammte einer Sondirung zugängliche Wassersäule fortwährend in heftigem Sieden begriffen ist, so müssen die verschiedenen Temperaturen derselben constant bleiben, und dem in den einzelnen Schichten stattfindenden Drucke entsprechen. Auf Grund mehrerer in verschiedenen Tiefen angestellten thermometrographischen Messungen ließ sich folgern, daß der untere enge Theil des Strokkrtrichters von einem empordringenden Dampfstrahl erfüllt ist, der die in verschiedenen Höhen sich gleichbleibende Temperatur an dieser Stelle bedingt, während das im oberen Trichter von diesem Dampfstrahle getragene Wasser durch denselben fortwährend im Kochen erhalten wird. Die Kraft aber, welche die periodischen großen Eruptionen bedingt, muß in größeren, für directe Versuche unzugänglichen Tiefen ihren Sitz haben. Dies läßt sich schon aus dem Umstande folgern, daß, wenn man den Dampfkanal durch Erde, Steine und Rasen verstopft, nach 20 bis 30 Minuten eine große Eruption erfolgt, welche die Verstopfung des Kanals fortschleudert, und nachdem sie zuerst das schlammige Wasser des Trichters ausgeworfen, krystallhelle Wasserstrahlen oft an 57 Meter hoch emportreibt. Es kann aber nicht bezweifelt werden, daß diese unterhalb des allein noch den Messungen zugänglichen Dampfkanals hervorbrechenden Eruptionen durch eine dem Geiserapparate ganz ähnliche Vorrichtung periodisch in Thätigkeit gesetzt werden können.

Da nach den Versuchen Donny's *) luftfreies Wasser in einem abgeschlossenen Raume beträchtlich erhitzt werden kann, ohne daß eine Dampfbildung

*) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 562.

eintritt, die aber durch eine kleine Luftblase im Innern des Gefäßes augenblicklich in gewöhnlicher Weise hervorgerufen wird, während luftfreies Wasser beim Sieden ein heftiges Stoßen verursacht und bei der dann schnell eintretenden Dampfbildung durch die ganze Masse der Flüssigkeit mit Explosion verdampft, so hat man daran gedacht, daß dieser Umstand bei den Eruptionen der Geiser von Einfluß sein könne *).

Wir erwähnen hier noch beiläufig einiger, meist in vulkanischen Gegenden vorkommender Quellen, die aus condensirtem Wasserdampfe entstehen, indem Wasser durch die vulkanische Wärme in Dampf verwandelt, in höheren kälteren Schichten wieder condensirt wird. Auf der Insel Pantellaria fand Dolomieu **) in einem Gebirge eine Grotte, aus deren Boden ein feuchter Dunst emporstieg, welcher sich an der Wölbung verdichtete und eine perennirende Quelle bildete. Eben so steigen auf dem Berge Calogero auf Sicilien Dämpfe aus einer Höhle empor, die sich zu Tropfen verdichten und eine perennirende Quelle bilden. Und Humboldt fand auf dem Pic von Teneriffa kleine Löcher, an deren Wänden sich fortwährend Wasserdämpfe, die aus dem Innern hervortraten, verdichteten. Dieselben werden deshalb von den Einwohnern Narines del Pico genannt. —

Die in diesem Artikel aufgestellte und fast allgemein von den Physikern angenommene Ansicht über den Ursprung der meisten, wo nicht aller Quellen aus atmosphärischem Wasser ist schon im Allgemeinen von Aristoteles ***), Seneca ****) und Vitruv *****) geäußert worden, allerdings vermischt mit manchen dem Gegenstande nicht entsprechenden Meinungen. Eine schärfere Fassung mit Berücksichtigung aller betreffenden Umstände erhielt diese Ansicht aber erst durch Mariotte †), der durch eine einfache Rechnung fand, daß noch nicht $^1/_6$ des im Flußgebiete der Seine gefallenen Wassers nöthig sei, um die hierher gehörigen Quellen zu speisen, und daß die übrigen $^5/_6$ theils durch Verdunstung, theils durch die organische Welt verwendet werden. Viel später stellte Dalton eine ähnliche Rechnung für England auf, wo dann der Einwand wegfällt, den Sedileau gegen Mariotte's Berechnung erhob, daß nämlich für dieselbe überhaupt nur eine Insel dienen könne. Dalton berechnete die Höhe der jährlich aus der Atmosphäre auf den Boden Englands niederfallenden Wassermenge (ohne Rücksicht auf den Niederschlag aus Nebeln) zu 36,4 Zoll. Diese Wassermenge, auf das bekannte Areal von England vertheilt, giebt jährlich 4 Billionen, 181713 Millionen, 536000 Cubikfuß, oder etwa $4^1/_2$ deutsche Cubikmeilen. Diejenige Quantität Wasser, welche jährlich durch die Themse dem Meere zufließt, beträgt etwas mehr als $^1/_{25}$ der jährlichen Wassermenge von ganz England, und die Wassermengen, welche alle übrigen Flüsse von England und Wales ins Meer ergießen, machen ungefähr $^9/_{25}$ des gesammten atmosphärischen Wassers aus,

*) Vergl. Flouren in Edinb. new. phil. Journ. April 1847. Dingl. polyt. Journ. Bd. CV. S. 443.

**) Reisen nach den Lipar. Inseln. Uebers. von Lichtenberg. Leipzig 1783.

***) Meteor. L. I. cap. 13.

****) Quaest. Nat. L. III. cap. 9.

*****) De Archit. L. VIII. cap. 1.

†) Traité de mouvement des eaux et de autres corps fluides. Oeuvres de Mariotte. Leide 1717. T. II. p. 326. 333—340.

so daß etwa noch eine Wasserhöhe von 23 Zoll übrig bleibt, die großentheils durch Verdunstung in die Atmosphäre zurückkehrt.

Perault und de la Hire wandten *) gegen die Ansicht vom atmosphärischen Ursprung des Quellwassers ein, daß das atmosphärische Wasser nicht tief in die Erde eindringe. Dies gilt wohl für manchen Boden, für Acker- und Gartenland, wie bereits früher hervorgehoben ist, während es sonst gar nicht an Thatsachen fehlt, welche bezeugen, daß das Wasser tief ins Innere der Erde eindringt, wie sich dies auch aus der Structur vieler Gebirgsarten sehr wohl erklären läßt. So führte auch schon Mariotte an, daß in den Gewölben der Pariser Sternwarte und in anderen eine der Regenmenge nahe proportionale Menge von Wasser herabtröpfelt.

Die Ansicht von Mariotte fand Verbreitung und zum Theil auch weitere Ausbildung durch De la Metherie **), De Luc ***), Hube ****), Lichtenberg *****), J. T. Mayer ******) und J. F. W. Otto †), wie denn auch Cuvier ††) und Berzelius †††) sich entschieden dafür erklärten; und jetzt kann man sie, wie schon bemerkt, als eine fast allgemein angenommene betrachten.

Schließlich erwähnen wir, nur des historischen Interesses wegen, noch folgende Ansichten.

Nach Varenius und Derham, besonders aber nach Kircher soll das Meerwasser in den feinen Zwischenräumen der Erdrinde, wie in Haarröhrchen, aufsteigen, sich in größeren Räumen ansammeln, und aus diesen zum Theil abfließen.

Kepler ††††) betrachtete die Erde gewissermaßen als ein großes Thier, das Meerwasser einsauge, im Innern der Erde weiter verbreite und daraus das sogenannte Grundwasser als Ursache der Quellen bereite. Diese Ansicht war eine Verirrung der Phantasie Kepler's, der in diesem Gebiete der Naturforschung nicht jene feine Combination der Thatsachen versuchte, wie in der Astronomie. Ein Anhänger dieser Ansicht war besonders Lulofs †††††). Auch in neuerer Zeit haben noch eine gewisse Anzahl von Gelehrten, als Patrin, Bertrand, Ebel, Voigt, Schelling und besonders Keferstein *†) dieser Ansicht gehuldigt und dieselbe weiter ausgemalt. Hiernach erscheint die Erde als ein Organismus mit einer Art von Athmungsproceß, zufolge dessen sie mephitische Gase

---

*) Mém. de l'Acad. 1693. p. 117; 1703. p. 68.

**) Theorie der Erde. 1797. (2 Th. 8.) Th. II. S. 259.

***) Untersuchungen über die Atmosphäre. Th. I. §. 154.

****) Vollst. und faßl. Unterricht in der Naturlehre. Bd. I. S. 117; Bd. II. S. 222.

*****) Erxleben's Naturlehre. §. 688—690.

******) Lehrbuch der phys. Astronomie, Theorie der Erde und Meteorologie. Gött. 1805. §. 103 ff.

†) Versuch einer phys. Erdbeschreibung. Berl. 1800. S. 50.

††) Geschichte der Fortschritte der Naturwissenschaften. Uebers. von Wiese. Bd. I. S. 131.

†††) Lehrbuch der Chemie. Bd. I. S. 403.

††††) Harmonices mundi Lib. quinque. Lincii 1619. fol. lib. III.

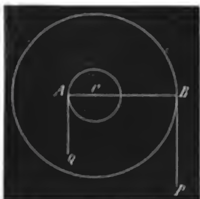
†††††) Einleit. zur mathem. u. phys. Kenntniß der Erdkugel. Aus dem Holländ. von Kästner. Leipzig 1755. S. 295.

*†) Versuch einer neuen Theorie der Quellen und insbesondere der Salzquellen. In dessen: Deutschland, geognostisch-geologisch dargestellt. Bd. V. Heft 1 ff.

aushaucht und dafür atmosphärische Luft aufnimmt, aus deren Sauerstoff das Wasser der Quellen gebildet werde. Eine derartige Ansicht entspricht ganz dem Charakter der älteren naturphilosophischen Schule, die häufig über lauter Analogien den Hauptfragepunkt aus dem Gesichte verlor. Nur mit dem allergrößten Zwange läßt sich in Bezug auf den Erdkörper an einen eigentlichen Athmungsproceß im wissenschaftlichen Sinne denken. Und dann ist auch nicht erklärt, wie der Sauerstoff der Atmosphäre im Innern der Erde zur Wasserbildung verwendet wird. Auch ist, wie schon Muncke *) bemerkte, hier ganz übersehen, daß durch den thierischen Athmungsproceß wohl Wasserdünste ausgeschieden, aber nicht gebildet werden; sondern bereits vorhandenes Wasser wird in Form des Dampfes ausgehaucht. Es müßte also auch in der Erde schon Wasser vorhanden sein, aber dann ist kein Athmungsproceß erforderlich, um das Hervortreten desselben in den Quellen zu erklären. Doch finden sich wohl auch in unserer Zeit noch hie und da Anhänger derartiger Ansichten **).

Quickbrei, s. Amalgam.

Rad an der Welle, Radwelle (franz. roue sur l'arbre, engl. wheel andaxle) ist eine einfache Maschine, welche ihrem Principe nach auf dem Hebel beruht. Dasselbe besteht im Allgemeinen aus einem Cylinder, einer Walze (Welle), auf welchem ein Rad, eine Scheibe oder dergleichen festsitzt, so daß der Mittelpunkt des Rades in die Axe des Cylinders fällt, um welche die ganze Maschine gedreht werden kann. Die Kraft P wirkt am Umfange des Rades, die Last Q am Umfange der Welle. Bezeichnet nun nebenstehende Figur den Durchschnitt einer Radwelle, so ist $AC = r$ der Halbmesser der Welle und $BC = R$ derjenige des Rades, und man hat nach den Gesetzen des Hebels für das statische Gleichgewicht von Kraft und Last: $P : Q = r : R$, also $P = \frac{Qr}{R}$ (1). Ist P etwas größer als hier aus (1) folgt, so wird Q gehoben. Bei jeder wirklich ausgeführten Maschine der Art kommt aber zur Last noch die durch die Kraft zu überwindende, bei der Maschine stattfindende Reibung (s. d. Art.) und der Widerstand, welchen die größere oder geringere Steifigkeit der Seile (s. d. Art.) darbietet, hinzu. Haben die Seile, welche um die Welle und das Rad geschlungen sind, eine im Verhältnisse zu den Halbmessern der letzteren nicht unbeträchtliche Dicke, so muß auf diese Rücksicht genommen werden.



---

*) Gehler's phys. Wörterbuch. N. B. Bd. VII. S. 1043.

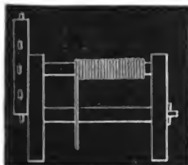
**) Vergl. die Räthsel unserer Quellen, oder Kritik aller wichtigeren bisher aufg. Theorien über den Ursprung, die Temperatur, Periodicität ꝛc. der Quellen, oder Versuch einer ausf. begr. Lös. dieser Fragen mit Hülfe eines neuen allg. Princips, von Nowak, 2. Aufl. Leipzig 1852.

Bezeichnet man durch r' und R' die Halbmesser der um Welle und Rad geschlungenen Seile, so ist $P:Q = r + r' : R + R'$.

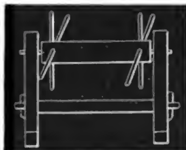
Die Welle ist an ihren beiden Enden mit Zapfen versehen, welche in Lagern ruhen und in diesen sich umdrehen. Die Zapfenreibung ist natürlich noch von der Kraft zu überwinden. Bezeichnet man den Zapfendruck durch Q' und den Halbmesser der Zapfen durch ϱ, so hat man, wenn μ der Reibungscoefficient ist, für das Moment der Reibung $\mu Q' \varrho$, und für das statische Gleichgewicht nach Gleichung (1): $PR = Qr + \mu Q' \varrho$.

Die Radwelle wird übrigens in der Praxis vorzugsweise durch Verwendung von Menschenkraft in Thätigkeit gesetzt; sie wird dann gewöhnlich Haspel genannt. Bei dem sogenannten Radhaspel (s. beisteh. Fig. I.) sind an dem Rade lange Zähne, Spindeln oder Spillen (daher auch Spillenhaspel) angebracht, an welche die Arbeiter, welche die Maschine in Bewegung setzen, die Hände anlegen. Bei dem Kreuzhaspel (s. Fig. II.) ist das Rad durch zwei Paar Hebebäume ersetzt, welche sich kreuzen; und bei dem Hornhaspel (s. Fig. III.) dienen gekröpfte Kurbeln statt des Rades.

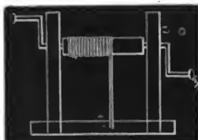
I.



II.

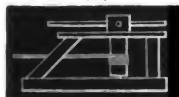


III.



Von der eben betrachteten liegenden Radwelle ist die stehende zu unterscheiden, bei welcher die Welle senkrecht steht, während das Rad oder vielmehr die dasselbe ersetzenden Bäume wagerecht gestellt sind. Es gehören hierher die Winden (Erd- und Schiffswinden), und Göpel. Bei ihnen kommen im Wesentlichen dieselben statischen Gesetze in Betracht wie bei der liegenden Radwelle. Eine Winde zeigt nebenstehende Fig. IV. Dieselbe dient meist zum Fortschaffen größerer Lasten, die auf dem Erdboden liegen und an das um die Welle geschlungene Seil befestigt werden. Bei dem Göpel ist die stehende Welle größer; er wird zum Heben von Lasten (z. B. aus Gruben) benutzt. Man unterscheidet, je nachdem Menschen- oder Pferdekraft verwendet wird, Hand- und Pferdegöpel. Die Kräfte wirken hier an längeren Armen, welche mit der Welle in fester Verbindung stehen. Diese Arme werden fortgeschoben oder gezogen, wodurch die Welle eine drehende Bewegung erhält. Umstehende Figur I. zeigt einen Pferdegöpel. Die Gabeln an den Enden der Arme werden auf den Rücken der Pferde an dem Geschirre (Kummt) befestigt.

IV.

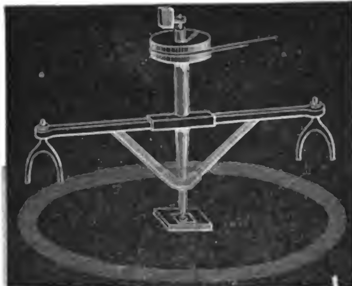


Das statische Gleichgewicht ergiebt sich beim Göpel wie bei der Radwelle überhaupt; doch findet hier noch eine Reibung an der unteren Fläche des Stiftes

statt, auf welchem die Welle steht. Es ist vortheilhaft, wenn die Bewegung des Thieres sich so weit als thunlich einer geradlinigen nähert, weshalb die Arme (Schwengellänge, Halbmesser der Rennbahn) möglichst groß werden müssen.

Als Anwendungen der Radwelle erwähnen wir hier noch das Lauf- und Tretrad. Beide bestehen im Wesentlichen aus zwei Radkränzen, welche untereinander durch einen Boden und mit der Welle durch Arme in Verbindung stehen. Bei dem Laufrad (s. beisteh. Fig. II.) stehen ein oder wohl auch mehrere Arbeiter im Innern des Rades, welche das letztere durch ihr Gewicht in Umdrehung bringen, indem sie an Stufen, die im Rade angebracht sind, hinaufgehen. Dagegen

I.

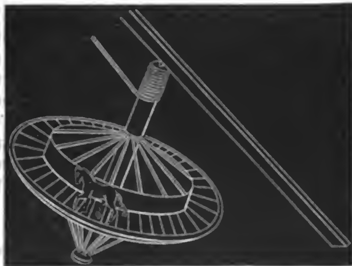


II.



befindet sich der Arbeiter bei dem Tretrade oben auf dem äußeren Umfange desselben. Das sogenannte Sprossenrad besteht nur aus einem mit Bolzen versehenen Kranze, an welchem sich der Arbeiter, gleichsam wie an den Sprossen einer Leiter, anhalten kann. Hier wirkt der Arbeiter, der etwa in der halben Radhöhe steht, mit seinem vollen Gewichte; doch ist auch seine Anstrengung größer als bei dem Lauf- und Tretrade, wo der Hebelsarm seines Gewichtes kleiner ist als der Radhalbmesser. Zieht man (s. Fig. II.) an den Punkt b eine Tangente, so bestimmt sich eine schiefe Ebene, die vom Arbeiter gewissermaßen zu ersteigen ist; der Steigwinkel ist $ibs = bca = \alpha$. Nun ist für das Gewicht G des Arbeiters der Hebelsarm $ce = cb \sin\alpha = R \sin\alpha$, wenn $cb = R$ gesetzt wird. Für das Lauf- und Tretrad hat man hiernach $G R \sin\alpha = Q \cdot r$, wo $r = ci =$ dem Hebelsarme der Last Q ist.

III.



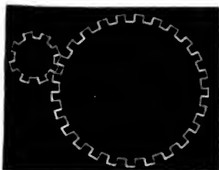
Schließlich sei hier noch der Tretscheibe (s. beist. Fig. III.) gedacht, bei der die Welle um einen gewissen Winkel (20° bis 25°) von der Verticalen ab-

weicht, wodurch die senkrecht auf ihr stehende Scheibe eine geneigte Lage gegen den Horizont erhält. Geht nun z. B. ein Pferd auf dem scheibenförmigen Rade hin, so wird dadurch die Welle umgedreht. Auch hier gilt die Gleichung $G R \sin \alpha = Q r$, wenn α den Neigungswinkel der Scheibe, der zugleich der Steigwinkel des Pferdes ist, und R den horizontalen Halbmesser der Scheibe bezeichnet.

Radhaspel, s. Rad an der Welle.

Räderwerk, Rad und Getriebe. Diese Vorrichtung besteht in einer Verbindung mehrerer Räder (oder auch eines Rades und einer Stange), welche an ihren Umfängen mit Hervorragungen und entsprechenden Einschnitten versehen sind, welche dergestalt in einander greifen, daß die Bewegung des einen Rades die der anderen zur Folge hat. Sind die Umfänge zweier solcher Räder gleich groß, so legen sie in gleichen Zeiten gleich viel Umläufe zurück, ist dagegen der Umfang des einen Rades noch einmal so groß als der des anderen, so wird sich dieses während eines Umlaufes des ersteren zweimal um seinen Mittelpunkt herumbewegen, und im Allgemeinen werden sich die Zahlen der Umläufe beider Räder und daher auch die Geschwindigkeiten der letzteren umgekehrt verhalten wie die Umfänge derselben, während diese, die Umfänge, im directen Verhältnisse der Halbmesser stehen.

Die Hervorragungen an den Rädern werden im Allgemeinen Zähne genannt, und da jedesmal ein Zahn des einen Rades in eine Vertiefung oder Lücke des anderen Rades eingreifen soll, so werden bei gleich großen Rädern die Zähne in gleicher Anzahl vorhanden sein müssen, bei ungleich großen Rädern wird aber auch eine ungleiche Anzahl von Zähnen nöthig erscheinen. Stellen wir uns zwei Räder vor, deren Umfänge sich wie 1 : 4 verhalten, so würden, wenn das kleinere Rad 6 Zähne hat (s. beistehende Figur), für das größere 4 . 6 = 24 zu nehmen sein.

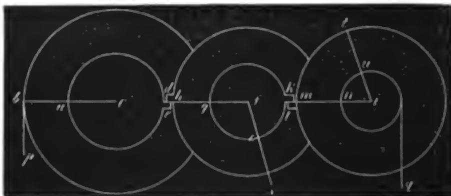


Je nach der Richtung, welche die Zähne eines Rades gegen die Fläche desselben haben, erhalten die Räder und wohl auch die Zähne selbst verschiedene Namen. Ein Rad, dessen Zähne in der Richtung der Halbmesser des Rades stehen (das Rad mag nun ausgefüllt, eine Scheibe sein, oder Speichen haben), heißt ein Stern- oder Stirnrad, und ein Rad, dessen Zähne senkrecht auf seine Fläche stehen, heißt ein Kron- oder Kammrad, und die Zähne selbst werden bei diesem Kämme genannt. Stehen aber die Zähne schräg, dergestalt, daß sie einen Kegel bilden, so hat man ein konisches Rad.

Wenn die Zähne oder Kämme eines Rades in die Vertiefungen eines anderen eingreifen, so ist dieses letztere gegen das erstere gewöhnlich sehr klein, und erhält nicht selten eine in die Länge gezogene cylindrische Gestalt. Man nennt es ein Getriebe. Solche Getriebe werden am einfachsten so hergestellt, daß man zwei Scheiben einander parallel gegenüber stellt, und diese durch Stäbe, die auf ihnen senkrecht sind, verbindet. Die Stäbe befinden sich hiernach in dem Mantel eines geraden Cylinders, und zwar unter gleichen Abständen, parallel mit der Axe desselben. Die Anzahl der Stäbe richtet sich nach der Zahl der am Getriebe nöthigen Zähne, so daß sie die Stelle dieser ersetzen. Diese Stäbe heißen Triebstöcke, und ein solch Getriebe selbst nennt man auch ein Trilling (Drehling).

Dagegen hat man auch Getriebe, welches aus einer massiven Walze oder Welle bestehen, in welche Vertiefungen (Furchen) eingeschnitten sind, um die Zähne des Rades aufzunehmen.

Betrachten wir nun etwas näher ein Räderwerk, welches aus drei Rädern und den entsprechenden Getrieben besteht. Die großen Kreise in beistehender Figur stellen die Durchschnitte der Räder, die kleinen die Durchschnitte der Getriebe dar.



Am Umfange des Rades (links) wirkt eine Kraft p und an der Welle des dritten Rades eine Last q, welcher durch jene Kraft das Gleichgewicht gehalten werden soll. Sobald nun die Kraft p zu wirken beginnt, drückt der Triebstock e den Zahn des Rades d mit einer Gewalt x, und es ist $p : x = ca : cb$ oder wenn $ca = r$ und $cb = R$ gesetzt wird, $p : x = r : R$, folglich $x = p \cdot \frac{R}{r}$. Die Kraft p wirkt nämlich am Hebelsarme $cb = R$ und der Druck bei e vermittelst des Getriebes am Hebelsarme r, der dem Halbmesser des Getriebes entspricht. Den Druck x kann man nun als eine Kraft betrachten, welche am folgenden Rade nach der Tangente wirkt, und der Triebstock k drückt den Zahn l mit einer Gewalt x', die sich aus der Proportion $x : x' = fg : fh = r' : R'$ ermitteln läßt. Es ist also $x' = x \cdot \frac{R'}{r'}$, oder $x' = p \cdot \frac{R}{r} \cdot \frac{R'}{r'}$.

Ferner kann man wieder annehmen, daß dieser Druck x' unmittelbar am Umfange des dritten Rades nach der Tangente wirkt, und es ist im Falle des Gleichgewichtes $x' : q = in : im = r'' : R''$, daher $q = x' \frac{R''}{r''} = p \cdot \frac{R}{r} \cdot \frac{R'}{r'} \cdot \frac{R''}{r''}$, also $p : q = r \cdot r' \cdot r'' : R \cdot R' \cdot R''$.

Auf dieselbe Weise geht es fort, wenn die Anzahl der Räder und Getriebe größer wird. Man sieht, daß man mit derselben Kraft p eine desto größere Last q im Gleichgewichte erhalten kann, je kleiner die Getriebe im Vergleich zu den damit verbundenen Rädern sind.

Im Falle des Gleichgewichtes muß sich also bei einem Räderwerke die Kraft zur Last verhalten, wie das Product der Halbmesser an den Getrieben (die letzte Welle, an welcher die Last hängt, mit eingerechnet) zum Product der Halbmesser an den Rädern.

Wenn nun das erste Rad, an welchem sich die Kraft p befindet, einmal herumgeht, so dreht sich alsdann der Punkt s des anderen Rades nur bis h, wenn

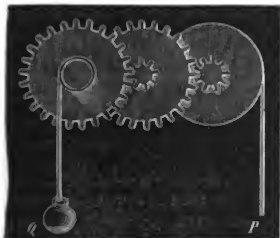
der Bogen sh = dem Umfange des ersten Getriebes ist, der Punkt o des anderen Getriebes bis g. Zu gleicher Zeit kommt auch der Punkt t des dritten Rades nach m, wenn mt = der Peripherie des anderen Getriebes, und der Punkt u der Welle in n an, so daß bei einem Umlaufe des ersten Rades die Last q um einen Weg steigt, der dem Bogen un entspricht. Nun hat man, wenn die obigen Bezeichnungen für die Halbmesser der Getriebe und Räder durch r, R ꝛc. beibehalten werden,

$$2\pi . R : sh = R : r;\ sh : tm = R' : r';\ tm : un = R'' : r'',\text{ folglich}$$

$$2\pi . R : un = R . R' . R'' : r . r' . r'' = q : p.$$

Es verhält sich also auch bei einem solchen Räderwerk die Kraft zur Last umgekehrt wie der Weg der Last zum Wege der Kraft. Man verliert hier also, wie es auch beim Hebel der Fall ist, eben so viel an Geschwindigkeit, als man an Kraft gewinnt. Die Geschwindigkeiten in Rücksicht auf Kraft und Last verhalten sich wie das Product aus den Halbmessern der Räder zum Product aus den Halbmessern der Getriebe.

Die beistehende Figur stellt, dem Vorstehenden entsprechend, ein Räderwerk vor, welches aus 3 Rädern besteht, welche mit Getrieben so in Verbindung stehen, daß jedes Rad mit einem Getriebe fest verbunden ist, und um dieselbe Axe sich herumbewegt, so daß das erste Getriebe in das zweite Rad, das zweite Getriebe in das dritte Rad eingreift. Nehmen wir der Einfachheit wegen die Durchmesser der Räder, so wie auch die der Getriebe unter sich als gleich an, so wird, wenn die Halbmesser der Getriebe zu denen der Räder im Verhältniß von 1 : 4 stehen, für den Fall des Gleichgewichtes sein:



$$P : Q = 1 . 1 . 1 : 4 . 4 . 4 = 1 : 64.$$

Wiegt mithin Q 64 Pfund, so wird Gleichgewicht stattfinden, wenn bei P eine Kraft = 1 Pfd. angebracht ist. Wird P etwas größer genommen, so kann Q gehoben werden; ist Q durch ein Seil an die Welle befestigt, so wird Q hinaufgezogen, indem sich das Seil um die Welle schlingt. Die Wege von P und Q verhalten sich aber wie 64 : 1, so daß sich das Seil an Q um 1 Fuß etwa aufrollt, während sich das Seil, woran P wirkt, um 64 Fuß abwickelt. Die Wirksamkeit der Maschine ist also die, daß man mit etwas über 1 Pfd. Kraft bei P 64 Pfd. bei Q um 1 F. zu heben vermag, während P 64 F. zurücklegt. In derselben Zeit also, in welcher Q 1 F. durchläuft, muß P 64 F. durchlaufen; und P bedarf zur Durchlaufung eines Fußes $^1/_{64}$ der Zeit, während welcher Q 1 Fuß zurücklegt.

Da nun ein jeder Zahn bei der Bewegung einen Triebstock vor sich hertreibt, so wird auch das Getriebe einmal umlaufen müssen, wenn so viele Zähne fortgegangen sind, als das Getriebe Stöcke hat. Wie viel Mal also die Anzahl der Triebstöcke in der Anzahl der Zähne enthalten ist, so viel Mal wird auch das Getriebe in eben der Zeit umlaufen, in welcher das Rad ein Mal umläuft. Man findet also die Anzahl der Umläufe des Getriebes, wenn

die Anzahl der Zähne durch die Anzahl der Triebstöcke dividirt wird. Setzt man also die Anzahl der Triebstöcke $= z$ und die Anzahl der Zähne $= Z$, so ist die Anzahl der Umläufe des Getriebes gegen einen Umlauf des Rades $= \frac{Z}{z}$. Wäre mit der Axe des Getriebes ein zweites Rad mit Z' Zähnen verbunden, welches in ein zweites Getriebe eingreift, und die Anzahl der Stöcke dieses Getriebes $= z'$, so würde die Anzahl der Umläufe dieses Getriebes $= \frac{Z'}{z'}$ sein, wenn das zweite Rad ein Mal umläuft. Nun kommen auf jeden Umlauf des ersten Rades $\frac{Z}{z}$ Umläufe des zweiten. Rechnet man also auf jeden Umlauf des zweiten Rades $\frac{Z'}{z'}$ Umläufe des zweiten Getriebes, so werden auf jeden Umlauf des ersten Rades $\frac{Z}{z} \cdot \frac{Z'}{z'}$ Umläufe des zweiten Getriebes kommen.

Dies läßt sich leicht auf eine größere Anzahl von Rädern und Getrieben ausdehnen. Hat man z. B. 4 nach einander folgende Wellen, an der ersten ein Stirn- oder Kammrad mit Z Zähnen, an der zweiten ein Getriebe mit z Triebstöcken und ein Rad mit Z' Zähnen; an der dritten ein Getriebe mit z' Triebstöcken und ein Rad mit Z'' Zähnen; an der vierten endlich ein Getriebe mit z'' Triebstöcken: so ist, wenn das erste Rad in 1 Minute n Umläufe macht, und die vierte Welle gleichzeitig N Umläufe, $\frac{N}{n} = \frac{Z}{z} \cdot \frac{Z'}{z'} \cdot \frac{Z''}{z''}$.

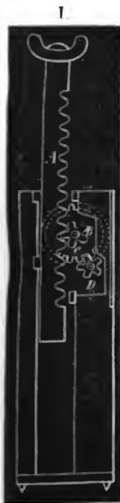
Hiernach läßt sich nun auch die Anzahl der Zähne und Triebstöcke finden, welche mehrere Räder und Getriebe haben müssen, damit das letzte Getriebe N Umläufe in 1 Minute mache, während das erste Rad deren gleichzeitig n macht. Man erkennt aber auch, daß hier mehrere Fälle stattfinden können, welche dem Verlangten Genüge leisten, indem man N und n in so viele Factoren zerlegt, als man Räder haben will. Soll z. B. das letzte Getriebe vierzig Mal umlaufen, wenn das erste Rad ein Mal umläuft, so ist $\frac{40}{1} = 5 \,.\, 4 \,.\, 2 = \frac{30}{6} \cdot \frac{28}{7} \cdot \frac{16}{8}$, und man kann drei Räder gebrauchen, wovon das eine 30, das andere 28 und das dritte 16 Zähne besitzt, wenn die entsprechenden Getriebe 6, 7, 8 Triebstöcke haben. Soll aber bei zwei Rädern und zwei Getrieben, die in jene eingreifen, das erste Rad 12 Umläufe in 1 Minute und das letzte Getriebe deren 60 in derselben Zeit machen, so dient nach der Formel $\frac{N}{n} = \frac{Z}{z} \cdot \frac{Z'}{z'}$, $\frac{60}{12} = \frac{6}{3} \cdot \frac{10}{4}$ zur Bestimmung der Anzahl Zähne und Triebstöcke, welche die beiden Räder und Getriebe haben können, um der geforderten Bedingung zu entsprechen.

Die Räderwerke finden nun beim Maschinenbau eine sehr mannichfaltige Anwendung, so wie auch bei verschiedenen physikalischen Vorrichtungen, worüber die betreffenden Artikel dieses Werkes Auskunft geben.

Besondere Aufmerksamkeit ist auf die Herstellung der Zähne zu wenden,

denn diese dürfen nicht mit völliger Genauigkeit in die Zwischenräume passend gearbeitet sein, weil dies ein Abbrechen derselben nothwendig zur Folge haben müßte, noch dürfen sie zu weitläufig stehen, so daß die Zwischenräume viel größer als die Zähne sind, weil dies ein nachtheiliges Schlottern des Räderwerkes, ein Anschlagen der Zähne an die Triebstöcke zur Folge haben würde. Dieselben müssen im Allgemeinen so geformt sein, daß sie sich an den Fugen oder Stöcken der Getriebe hinwälzen, ohne anzuschlagen. Man hat schon frühzeitig eine größere Anzahl von gelehrten Untersuchungen über die passendste Form der Zähne angestellt, so De la Hire *), L. Euler **), Camus ***), Kästner ****), Eytelwein *****), Hachette †), ꝛc. ††). Als die vortheilhafteste Gestalt der Zähne bei Stirn- und Kammrädern hat man theils eine cycloidische und epicycloidische, theils die Gestalt von Kreisevoluten empfohlen. — Bei den cylindrischen Getrieben sind die Triebstöcke gewöhnlich, aber nicht immer, kreisförmig rund; auch macht man dieselben, um Biegungen zu verhindern, möglichst kurz.

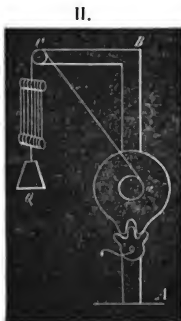
I.



Wichtige Anwendungen findet das Räderwerk beim Mechanismus der Uhren (s. d. Art. Chronometer).

Um eine geradlinige Bewegung vermittelst eines Räderwerkes hervorzubringen, braucht man nur ein Getriebe in eine bewegliche, gezahnte Stange eingreifen zu lassen, wie dies bei der einfachen Fuhrmannswinde der Fall ist. Das Getriebe wird hier durch eine Kurbel umgedreht. Diese Winde wirkt nach den Gesetzen des ungleicharmigen Hebels; die Länge der Kurbel bildet den längeren, der Halbmesser des Getriebes den kürzeren Hebelsarm. Die zusammengesetzte Winde besteht aus einem Rade, zwei Getrieben und einer gezahnten Stange. Das Getriebe D (s. nebenstehende Fig. I.) wird mittelst einer Kurbel umgedreht, greift in das Zahnrad C, welches mit dem Getriebe B verbunden ist, das nun in die gezahnte Stange A greift und diese hebt oder senkt, je nachdem man die Kurbel links oder rechts herum

II.



*) Traité de Mécanique. Par. 1665. Mém. de l'acad. depuis 1666. 1669. T. IX. Mém. de Math. et Phys. Par. 1694.

**) Nov. Comm. Pet. T. V. p. 229. T. XI. p. 207.

***) Mém. de l'Acad. 1733. p. 117. Hist. p. 81.

****) Comm. soc. reg. Gotting. 1781. 1782. T. IV. u. V.

*****) Handbuch der Statik ꝛc. Bd. I. S. 311.

†) Traité élém. des machines. Par 1823. p. 375 — 394.

††) Encyclop. Brit. Suppl. Art. Machinery, Rees cyclopaedia Art. Wheelwork. Airy in Trans. of the Cambr. Phil. Soc. T. II. p. 227. Langsdorf, Erläuterung höchst wichtiger Lehren der Technologie. Heidelb. 1807.

führt. Das Verhältniß zwischen Kraft und Last ist hier, wie beim Räderwerk überhaupt, nach den Gesetzen des ungleicharmigen Hebels zu beurtheilen.

Eine andere hierher gehörige Maschine ist der Krahn oder Kranich, der namentlich zum Auf- und Abladen der Schiffsgüter und auch beim Aufwinden von Baumaterialien angewendet wird. An einem senkrecht stehenden, um seine Längenachse beweglichen Pfeiler AB (s. vorst. Fig. II. auf S. 579) ist ein Rad angebracht, in das ein Getriebe eingreift, welches durch eine Kurbel gedreht werden kann. Von der Welle a geht ein Seil nach der Rolle, welche am Ende des Querbalkens BC befestigt ist, und von da nach dem Flaschenzuge (s. d. Art. Rolle), an welchem die Last Q hängt. Dreht man nun das Getriebe mittelst der Kurbel, so wickelt sich das Seil um die Welle a, und die Last wird gehoben.

Ramme (franz. sonnette, engl. Pile-Engine) ist eine Maschine, welche den Zweck hat, Pfähle, Steine ꝛc. in die Erde einzutreiben. Zunächst bietet sich hier die gewöhnliche Handramme dar, welche aus einem hölzernen, nach oben etwas verjüngten hölzernen Cylinder besteht, der unten von einem eisernen Ringe umgeben und oben mit einem hindurchgesteckten Stabe, der als Handhabe dient, versehen ist.

Bei den eigentlichen Rammmaschinen wird ein Kloß an einem Seile, das über eine Rolle geht, gehoben, um ihn dann auf den betreffenden Gegenstand, einen vertikal stehenden Pfahl, herabfallen zu lassen, wodurch dieser in die Erde eingetrieben wird. Es werden hier drei oder auch noch mehr Balken (Tragbäume) zu einer Pyramide vereinigt, und an dem oberen Ende derselben wird die Rolle befestigt, welche das Seil (Rammtau) aufnimmt. Zu größeren Vorrichtungen dieser Art, wie sie z. B. bei Wasserbauten vorkommen, wird ein besonderes Gerüste mit festem Schwellenwerk aufgeführt. Der Rammkloß bewegt sich dann an einem lothrechten Balken auf und ab, so daß ihm nur in vertikaler Richtung eine freie Bewegung gestattet ist. Der Rammkloß, den man auch Rammbär oder Hoyer nennt, ist entweder ein massiver, mit eisernen Bändern umgebener hölzerner Block, oder er besteht aus Gußeisen. Derselbe ist oben mit einem starken, eingeschraubten eisernen Ringe versehen, an welchem das Tau befestigt wird. Mit dem letzteren sind noch eine gewisse Anzahl anderer, mit kurzen hölzernen Handhaben versehener Seile verbunden, welche von den Arbeitern angezogen werden, um den Rammkloß in die Höhe zu ziehen. Das letztere geschieht mit einer solchen Schnelligkeit, daß der Kloß noch um etwas höher fliegt, als er gezogen wird, und das Hauptseil (Tau) beim Anfange des Fallens wieder vollständig erschlafft ist. Der Rammkloß kann dann aus einer größeren Höhe herabfallen, ohne durch das Tau am schnelleren Fallen verhindert zu werden. Das Aufziehen des Klotzes ist auch in einem gewissen Tacte zu vollziehen, so daß in Pausen mehrere Züge (20 bis 25), die man eine Hitze nennt, ohne Unterbrechung folgen. Da jedoch die Arbeiter hierbei über das mittlere Maß ihrer Kräfte angestrengt werden, so ist ein öfteres Ausruhen erforderlich *). Unter Umständen können aber auch andere Kräfte (Pferde- und Dampfkraft) zur Bewegung des Rammklotzes verwendet werden.

Der Rammkloß hat, nachdem er von einer gewissen Höhe auf den Pfahl

*) Vergl. Gerstner, Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 13 ff.; Th. III. S. 141.

(Pilotte) gefallen ist, mit diesem eine bestimmte gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße, mit welcher der Pfahl in die Erde einzudringen sucht. Diese Geschwindigkeit wird nun durch den Widerstand des Erdreichs allmälig aufgehoben; der Widerstand wächst aber im Allgemeinen mit zunehmender Tiefe, erreicht jedoch endlich einen gewissen constanten Werth. Ein Körper erlangt nun, wenn er durch die Höhe h frei herabfällt (s. d. Art. Fall), die Geschwindigkeit $v = \sqrt{2\,g\,h}$. Ist die Masse des Rammklotzes aber $= M$ und die des Pfahles $= M'$, so hat man nach den Gesetzen des Stoßes (Bd. I. S. 838) für die gemeinschaftliche Geschwindigkeit des Rammklotzes und Pfahles nach dem Stoße $v' = \frac{M v}{M + M'}$.

Soll nun der Masse $M + M'$ diese Geschwindigkeit durch den Widerstand des Erdreichs entzogen werden, so ist dazu (s. Art. Mechanische Arbeit) eine Arbeit $= (M + M') \frac{v'^2}{2g} = \frac{M^2}{M + M'} \cdot \frac{v^2}{2g}$ nöthig.

Gesetzt nun, der Pfahl dringe noch durch den auf die letzte Hitze folgenden Schlag um eine gewisse Anzahl von Zollen $= s$ in die Erde ein, so ist die mechanische Arbeit des Widerstandes auf dem Wege s, $= P s$, wenn man die Größe dieses Widerstandes durch P bezeichnet. Es ist also auch $P s = \frac{M^2}{M + M'} \cdot \frac{v^2}{2g}$, oder falls man für $\frac{v^2}{2g}$ die Fallhöhe h einsetzt, $P s = \frac{M^2}{M + M'} \cdot h$, und $P = \frac{M^2}{M + M'} \cdot \frac{h}{s}$.

Dieser Ausdruck für die Größe des Erdwiderstandes P giebt auch zugleich die Größe der Belastung an, welche der Pfahl tragen kann, ohne noch tiefer in die Erde einzudringen. Es hat, wie man sieht, keine Schwierigkeit, die Größe P zu berechnen, sobald die Gewichte oder Massen des Rammklotzes und Pfahles, so wie auch h und s gegeben sind. Doch pflegt man, wegen der Sicherheit auf die Dauer, die eingerammten Pfähle nur $^1/_{100}$ bis $^1/_{10}$ so stark zu belasten, als der berechnete Werth von P angiebt.

Die aufgestellte Formel für P gilt, wenn der Stoß zwischen Pfahl und Rammklotz, wie gewöhnlich, nahezu als ein unelastischer anzusehen ist. Wäre aber der Stoß vollkommen elastisch, so hätte man die Geschwindigkeit $v' = \frac{2 M v}{M + M'}$. Bei unvollkommener, aber nicht zu vernachlässigender Elasticität, die im Vergleich zur vollkommenen Elasticität $= 1$ durch e bezeichnet werden kann, wo dann e immer kleiner als 1 ist, hat man $v' = \frac{M v}{M + M'} (1 + e)$.

In der obigen Ableitung für P ist angenommen, daß Rammklotz und Pfahl nach dem Stoße sich gemeinschaftlich fortbewegen oder in die Erde eindringen. Ruht aber der Rammklotz nicht mehr auf dem Pfahle, während dieser in die Erde eindringt, so ist die mechanische Arbeit des Pfahles, welche der Geschwindigkeit nach dem Stoße $v' = \frac{M v}{M + M'}$ entspricht, $= M' \cdot \frac{v'^2}{2g} = \frac{M^2}{(M + M')^2} \cdot \frac{M' v^2}{2g}$.

Daher $Ps = \left(\frac{M}{M + M'}\right)^2 . M'h.$

Soll die Elasticität e der stoßenden Körper, welche, falls sie sehr unbeträchtlich ist, füglich außer Acht gelassen werden kann, berücksichtigt werden, so hat man für die Geschwindigkeit v' den oben aufgestellten Werth einzusetzen.

Rauch, s. Verbrennung.

Reagens, s. Agens.

Rectascension, s. Aufsteigung.

Reflexion des Lichtes, s. Licht.

Reflexion der Wärme, s. Wärme.

Refraction des Lichtes, s. Brechung des Lichtes.

Refractoren, s. Fernrohr.

Regen nennt man das Wasser, welches meist in der Form kugelförmiger Tropfen in größerer oder geringerer Quantität aus der Atmosphäre auf die Oberfläche der Erde herabfällt.

Die atmosphärische Luft ist stets mit einer beträchtlichen Menge dampf- oder gasförmigen Wassers erfüllt, weil sich fortwährend ein Theil des auf der Erde befindlichen tropfbaren Wassers in luftförmiger Gestalt in die Höhe hebt und in der Atmosphäre verbreitet. Nun kann aber die Luft bei einer bestimmten Temperatur jedesmal nur eine bestimmte Quantität Dampf enthalten; erreicht der letztere für die gerade herrschende Temperatur das Maximum seiner Dichte und Spannkraft, so ist die Luft mit Dampf gesättigt *). Doch gelangt die Luft wohl nur über wenigen Orten der Erdoberfläche in Folge der fortschreitenden Verdunstung des Wassers in den Zustand der Sättigung; leicht kann aber dieser Zustand durch Temperaturerniedrigung und durch die Vermengung feuchter Luftmassen mit anderen von ungleicher Temperatur herbeigeführt werden. So muß in allen Fällen, wo zwei ungleich temperirte Luftmassen sich mischen, eine Verdichtung des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes stattfinden, sobald nämlich die Temperatur der Mischung unter den Thaupunkt (Art. Atmosphäre, S. 548) zu liegen kommt. Hierbei ist es von Bedeutung, daß die Spannkraft des Wasserdampfes, welche der mittleren Temperatur der beiden Luftmassen entspricht, immer geringer ist als das Mittel aus den Spannkräften des Wasserdampfes in den vorher getrennten Luftmassen.

Aus der Condensation (Verdichtung) des Wasserdampfes entstehen nun zunächst hohle Wasserbläschen, die Wolken (s. d. Art.) bilden, und deren wässerige Hülle sich bei fortschreitender Condensation des Dampfes fortwährend vergrößert, während auch mehrere solcher Bläschen, wenn sie mit einander in Berührung kommen, zusammenfließen. So entstehen dann volle Wassertropfen, die vermöge ihres Gewichtes aus den Wolken herab auf die Erde fallen. Kommen aber diese Tropfen beim Herabfallen durch wärmere, mit Wasserdampf angefüllte Luftschichten, so schlagen sie auf ihrer kälteren Oberfläche den umgebenden Wasserdampf nieder, der sich mit ihnen vereinigt, so daß sie immer mehr vergrößert endlich die Erdoberfläche erreichen. — Eine Condensation des Wasserdampfes und mithin Wolken und zuletzt Regen wird natürlich auch dann stattfinden, wenn sich Wasserdämpfe,

---

*) Vergl. Art. Atmosphäre, Bd. I. S. 537 ff.

in Folge eines aufsteigenden Luftstromes, in die höheren und kühleren Regionen der Atmosphäre erheben, welche zu kalt sind, um das Wasser im Dampfzustande erhalten zu können, und folglich einen Niederschlag veranlassen müssen.

Aus dem Umstande, daß sich die Regentropfen, wie oben angegeben, vergrößern, wenn sie auf ihrem Fallwege nach der Erde durch warme, wasserdampfreiche Luftschichten gehen, erklärt sich eine größere Anzahl hierher gehöriger Erscheinungen. So sind die durch den Nebel gebildeten Wassertropfen viel kleiner als die des Regens aus Wolken, weil der Nebel meist nahe an der Erdoberfläche entsteht, worin sein Unterschied von den Wolken liegt, also ein Herabfallen der Tropfen aus beträchtlicher Höhe hier nicht stattfindet. Je bedeutender die Höhe ist, aus welcher die Tropfen herabfallen, desto größer müssen sie unten ankommen. Nun steigen die Wolken in den Aequatorialgegenden höher auf als in der gemäßigten Zone, daher müssen die Regentropfen dort auch stärker sein als hier, wozu freilich auch noch kommt, daß in der kälteren Luft der letztgenannten Zone, unter sonst gleichen Bedingungen, weniger Wasserdampf niedergeschlagen werden kann, als in der wärmeren, wasserreicheren der Aequatorialzone. Aus demselben Grunde sind bei uns die Regentropfen im Winter kleiner als im Sommer. Unter dem Aequator sollen die Tropfen mitunter einen Zoll im Durchmesser halten und beim Auffallen auf die Haut eine schmerzhafte Empfindung erregen. Mit dem obigen Umstande hängt es denn auch ferner zusammen, daß die Regenmenge an demselben Orte in einer und derselben Vertikalen unten größer ist als an einem höher gelegenen Punkte. Besonders dicke Tropfen fallen im Sommer vor dem Ausbruche eines Hagels (s. d. Art.); hier erkennt man schon aus der nachfolgenden Eisbildung, daß die Wassertropfen, welche herabfallen, viel kälter sein müssen als die Luftschichten, durch welche sie gehen, und es erfolgt daher ein starker Niederschlag aus diesen wärmeren Luftschichten an die durch sie hinfallenden Tropfen. Wahrscheinlich sind diese Tropfen in den unteren wärmeren Regionen geschmolzene Hagelkörner, welche aus bedeutenden Höhen herabkommen.

Wiewohl der Regen in der Regel auf die bezeichnete Weise durch eine Wolkenbildung eingeleitet wird, so hat man doch auch schon öfter Regentropfen aus ganz heiterem Himmel herabfallen sehen *). Wahrscheinlich sind solche Tropfen aus Eistheilchen hervorgegangen, die in den höheren, kälteren Regionen entstehen und in den unteren, wärmeren Luftschichten schmelzen **). Doch können auch Regentropfen in geringerer oder größerer Anzahl durch den Wind aus einer entfernteren Wolke nach einer anderen, wolkenfreien Gegend der Atmosphäre geführt werden und hier herabfallen. Einen auf diese Weise entstandenen nicht unbeträchtlichen Regen, den man gewissermaßen einen secundären nennen könnte, beobachtete Wartmann am 9. August 1837 gegen Abend ***). In geringerer Quantität ist diese Fortführung von Regentropfen durch den Wind gerade nichts Seltenes.

Bei Beobachtungen über die Menge des herabfallenden Regenwassers bedient man sich eigener Apparate, sogenannter Regenmesser (s. d. Art.), durch welche die Höhe bestimmt wird, welche das auf einen Ort innerhalb einer gewissen Zeit

*) Compt. rend T. XIV. N. 18. p. 663; L'Institut. 6me Ann N. 233; Humboldt, Relat. histor. T. III. p. 317.

**) Arago, Annuaire p. 1836 p. 281.

***) Compt. rend. 1837. T. II. p. 549.

fallende Regenwasser erreichen würde, wenn dieses weder durch Einsickern in den Boden noch durch Verdunstung einen Verlust erlitte.

Da der Regen von dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfe abhängt, und dieser in einer um so größeren Menge erzeugt wird, je mehr die Wärme der Atmosphäre die Verdunstung des Wassers begünstigt, so müssen im Allgemeinen wärmere Länder stärkere Wasserniederschläge liefern als kältere. Weil jedoch der Niederschlag des Regens in jedem einzelnen Falle durch ein Herabgehen der Temperatur bedingt wird, so wird es in den Gegenden am öftersten regnen, wo die meisten Temperaturwechsel stattfinden. Und hiermit hängt es zusammen, daß die jährliche Regenmenge vom Aequator an im Allgemeinen mit steigender Breite abnimmt, während für die Anzahl der Regentage das Umgekehrte gilt. Durchschnittlich rechnet man auf das Jahr im südlichen Europa 120 Regentage, im mittleren 146 und im nördlichen 180, während die Stärke des Regens von Süd nach Nord abnimmt.

Es ist bereits hervorgehoben, daß der Regen entweder dadurch entsteht, daß warme, feuchte Luft emporsteigt und der in ihr enthaltene Wasserdampf in den oberen kälteren Regionen condensirt wird, oder so, daß wärmere, feuchte Luft sich mit kälterer Luft mischt, indem sie allmälig in horizontaler Richtung von wärmeren nach kälteren Gegenden strömt. Das letztere gilt namentlich für die Regen in der gemäßigten und kalten Zone, das erstere besonders für die heiße Zone. Im größeren Theile der letzteren wechselt regelmäßig eine Zeit der Dürre mit einer Zeit andauernden Regens, welche Zeiten die Indianer am Orinoco Sonne und Wolken (Regen) nennen. Humboldt *) gab von dem Verlauf dieser Regenzeiten folgende Beschreibung. Im amerikanischen Binnenlande östlich von den Cordilleren von Merida und Neu-Granada, in den Llanos von Venezuela und des Rio Meta, vom 4. bis 10. Grade n. Br., ist der Himmel vom December bis Februar so vollkommen heiter, daß auch das geringste Wölkchen die Aufmerksamkeit der Bewohner erregt. Gegen Anfang des März zeigt sich der Himmel minder dunkelblau, die Sterne erscheinen weniger hell, und hygroskopische Substanzen zeigen Spuren größerer Feuchtigkeit der Atmosphäre; der beständige N.O.-Wind (die Brise) wird durch Windstille unterbrochen, es sammeln sich Wolken in S.S.O., die sich zuweilen vom Horizont loszureißen scheinen, und dann mit unglaublicher, der schwachen Bewegung der unteren Luftschichten keineswegs angemessenen Geschwindigkeit die oberen Regionen des Himmels durchlaufen. Am Ende des März gewahrt man zuweilen gen Süden kleine elektrische Explosionen, wie phosphorische, auf eine einzige Dunstgruppe beschränkte Funken; es treten mehrere Stunden anhaltende West- und Südwest-Winde ein, und diese sind sichere Vorzeichen der beginnenden Regenzeit, die am Orinoco gegen Ende Aprils anfängt. Gleichzeitig erreicht die Hitze den höchsten Grad, die Luftelektricität, die sonst regelmäßig positiv zu sein pflegt, verschwindet, und geht zuweilen in negative über, und täglich herrschen Gewitter, von den heftigsten Regengüssen begleitet. Es ist jedoch ein falsches Vorurtheil, wenn man glaubt, diese Regen dauerten ganze Tage und Wochen ohne Unterbrechung, vielmehr vergeht kaum ein Tag, wo nicht die Sonne wieder hervorkommt, und die Hitze bei größter Feuchtigkeit der Luft einen unausstehlichen Grad erreicht. In der angegebenen Gegend erfolgt das Aufsteigen der

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. VIII. p. 179. Schweigg. Journ. Bd. XXIV. S. 71.

Gewitter in der Regel zwei Stunden nach Mittage, höchst selten hört man den Donner am Morgen oder während der Nacht. Auch hört der Regen gegen Abend auf, da er gleich nach dem Anfang der Gewitter die größte Heftigkeit erreicht.

Die Regenzeit der heißen Zone beginnt nördlich vom Aequator, wie eben angegeben, im April und Mai und dauert bis zum September oder October. In südlichen Breiten ändern sich die Jahreszeiten in denselben Monaten, nur mit dem Unterschiede, daß die trocknen Monate hier die sind, welche in den nördlichen die Regenmonate sind, und umgekehrt.

Unter dem Aequator erleidet die Erde die intensivste Einwirkung von Seiten der Sonne; es entsteht hier, indem die Erde sich dreht, ein Gürtel, dessen Temperatur die höchste ist. Dieser Gürtel bildet die Grenze zwischen der von der nördlichen und südlichen Erdhälfte horizontal zuströmenden kälteren Luft, und die in demselben täglich aufsteigenden Luftströme führen die feuchte, warme Luft der Tiefe in die höhere Atmosphäre, deren geringere Temperatur dann bedeutende Niederschläge veranlaßt. In der Region dieses Gürtels, der Calmen oder Windstillen, herrschen die Regen, während nördlich und südlich von ihr im Gebiete der Passate (s. d. Art. Wind) heiteres Wetter ist. Jene Region ist aber bezüglich ihrer Grenzen veränderlich, sie verschiebt sich mit der Deklination (Abweichung) der Sonne; ein Umstand, der für die Erscheinung der tropischen Regen von Bedeutung ist. Dove *) äußert sich hierüber folgendermaßen: „Orte, welche vorher an der Stelle des Zuströmens, d. h. im Passat lagen, werden vorübergehend in die Gegend der Windstillen aufgenommen; sie haben im ersten Falle ihre trockne, im letzteren ihre Regenzeit, jene bei tiefem, diese bei höchstem Sonnenstande. Die Dauer der tropischen Regen hängt von der Dauer der Aufnahme in die Gegend der Windstillen ab. Diese Dauer wird bedingt durch die Breite dieser Zone und durch die Größe der Verschiebung derselben in der jährlichen Periode. Rückt die Gegend der Windstillen eben so weit herauf und herunter, als die Abweichung der Sonne sich ändert, so würde jeder Ort zwischen den Wendekreisen einmal in einem der beiden Passate aufgenommen werden und zweimal durch die Gegend der Windstillen hindurchgehen, er würde also zwei trockne und zwei nasse Jahreszeiten haben. Am Aequator würden diese Regenzeiten ein halbes Jahr von einander abstehen, je näher den Wendekreisen aber um immer ungleicher werdende Zeitabschnitte, die an den Wendekreisen selbst in einen einzigen zusammenfallen würden. Diese Gegenden würden daher eine tropische Regenzeit haben bei höchstem Sonnenstande, außerdem aber eine subtropische bei niedrigstem Sonnenstande, darunter diejenigen Regen verstanden, welche sie empfangen würden, wenn sie ganz aus den äußeren Grenzen des Passates heraustraten. Das entgegengesetzte Extrem würde eintreten unter der Voraussetzung einer sich nicht ändernden oder überhaupt nicht stattfindenden Abweichung der Sonne, in welchen Fällen am Aequator eine Zone permanenter Regen sich finden würde, zu beiden Seiten eingefaßt von zwei stets regenlosen Passatgürteln, in welchen, da die Luft stets von kälteren Gegenden nach wärmeren strömt, sich die Fähigkeit derselben, Wasser aufzunehmen, stets erhöht, also keine Veranlassung zum Niederschlage vorhanden ist. Beide Extreme finden ihre annähernde Verwirklichung, dieses in der Zone fast permanenter Regen, in der sogenannten

*) Ueber die Vertheilung des Regens auf der Oberfläche der Erde in Zeitschrift für Allgemeine Erdkunde. Neue Folge herausg. von Neumann. Bd. II. Hft. 1. S. 1.

Regenzone im atlantischen Ocean in der Nähe des Aequators, im Gegensatze zu dem regenlosen Wüstengürtel Afrikas, jenes in der großartigen Periodicität aller klimatischen Erscheinungen in dem Gebiete der indischen Monsoons. — Wäre die Größe der Verschiebung in den einzelnen Jahren stets dieselbe und erfolgte sie in gleicher Weise, so würden der Anfang und das Ende der Regenzeit, so wie die Menge des herabfallenden Wassers unveränderlich sein. Dies ist aber nicht der Fall. Orte, welche in der Mitte der Passatzone liegen, können bei einer in einem bestimmten Jahre unverhältnißmäßig geringen seitlichen Bewegung der Zwischenzone möglicher Weise gar nicht in dieselbe aufgenommen werden und empfangen mithin keine tropischen Regen, während hingegen dann dem Aequator nahe gelegene Orte möglicher Weise das ganze Jahr aus jener Zone gar nicht heraustreten würden und ihre trockne Jahreszeit verlören. Die Monate des Ueberganges der einen Jahreszeit in die andere werden also in einzelnen Jahrgängen sehr verschieden ausfallen, überhaupt bei der Mächtigkeit der Niederschläge die absolute Menge des Niederschlages eine sehr veränderliche sein. Reiche Ernten oder vollständiger Mißwachs sind die unmittelbaren Folgen dieser Unterschiede, nicht blos da, wo die periodischen Ueberschwemmungen der Flüsse das Bedingende für die Entwickelung der Pflanzen sind, sondern auch auf Inseln, wo mächtige Ströme fehlen. Der westindische Pflanzer kümmert sich wenig um das Thermometer, das regelmäßige Eintreten der Regenzeit ist für ihn von der größten Bedeutung, darnach bestimmt er seine Aussicht auf einen mehr oder minder reichen Ertrag. In der gemäßigten Zone tritt der Einfluß der Feuchtigkeit weniger entschieden hervor, hier sind nur die äußersten Extreme verderblich und die Wärme gilt unbedingt als Hauptmoment. Dieser scheinbare Widerspruch löst sich einfach dadurch, daß in der gemäßigten Zone bei ziemlich gleichbleibendem Feuchtigkeitsverhältnisse einzelner Jahre die Temperatur derselben die erheblichsten Unterschiede zeigt. Da nun jede Pflanze zu ihrer Entwickelung eine bestimmte Wärme und eine bestimmte Feuchtigkeit bedarf, so wird ihr Gedeihen, wenn dem einen Bedürfnisse in der Regel genügt wird, nur einseitig von dem anderen abzuhängen scheinen. Der Charakter der Veränderlichkeit, welcher der Grundtypus aller Erscheinungen des Luftkreises ist, spricht sich in der heißen Zone nicht sowohl durch eine Unterbrechung der in den periodischen Veränderungen hervortretenden großartigen Regelmäßigkeit aus, als vielmehr darin, daß die periodisch wiederkehrenden Witterungsgegensätze innerhalb gewisser Grenzen ihre relative Dauer verändern, während in der gemäßigten Zone hingegen die Periode oft in den Störungen sich ganz zu verlieren scheint."

Die gewöhnlichen Regen der tropischen Gegenden werden also durch den aufsteigenden Luftstrom bestimmt, womit auch das Auftreten eines Maximums im Verlaufe des Tages im Zusammenhange steht, so daß selbst da, wo eine eigentlich trockne Jahreszeit nicht hervortritt, sondern die Niederschläge das ganze Jahr hindurch erfolgen, ein Nachmittags eintretendes Maximum stattfindet. Dies ist z. B. der Fall in Para (1° 28′ s. Br. und 48° 29′ w. L. Gr.), für welchen Ort Dove die Mittelwerthe der Anzahl der Niederschläge bestimmt hat, welche in 4½ Jahren, vom Januar 1845 bis Juni 1849 beobachtet wurden und bei denen die Tageszeiten unterschieden sind.

Indessen machen zu der Zeit, wo bei hohem Sonnenstande der Passat in Folge des aufsteigenden Luftstromes seine Kraft verliert, die localen Temperatur-

unterschiede zwischen Land und See sich so geltend, daß sie nicht nur in der täglichen Periode als Land- und Seewinde hervortreten, sondern auch die Richtung des Hauptstromes modificiren. Von der Mündung des Orinoco bis zum Cap St. Roque, bemerkt Dove, verläuft die südamerikanische Küste in Beziehung auf die südliche Erdhälfte ähnlich, wie die afrikanische Küste von Fernando Po bis nach Sierra Leona in Beziehung auf die nördliche Erdhälfte. Beide werden daher den Passat der anderen Erdhälfte über den Aequator hinüberzuziehen streben, d. h. jene Richtung in eine auf die Küste senkrechte zu verwandeln streben. Wir haben daher an der Nordküste von Südamerika, wenn die Sonne in südlichen Zeichen verweilt, Nordostwinde, an der Guinea-Küste hingegen, besonders wenn sie in nördlichen Zeichen verweilt, Südwinde zu erwarten, die durch die verminderte Drehung der Erde ein Gegenstreben erhalten, in Südwestwinde überzugehen. Die unsymmetrische Lage des Festlandes in Beziehung auf den Aequator veranlaßt, daß sich in der Zone von 10° n. Br. bis 10° s. Br. eine einzige Regenzeit erst an den Grenzen derselben vorzubereiten beginnt, während die große und kleine Regenzeit, die man mehr nach der Mitte derselben hin unterscheidet, so ineinander übergreifen, daß erst durch lange Beobachtungsreihen der gesetzmäßige Typus hervortreten kann. Dove *) hat die Regenmengen der Stationen Caracas, St. Fé de Bogota, Georgetown, Paramaribo, Cayenne, Para, Pernambuco zusammengestellt und als Gegensatz die Ergebnisse der Beobachtungen von Sierra Leona, Christiansborg, Freetown hinzugefügt.

Bei den hohen westindischen Inseln stellte sich ein besonderer Einfluß heraus, den die Lage der Beobachtungsstationen bezüglich der Gebirge auf die Menge des herabfallenden Wassers und selbst auf die Zeit übt, in welcher die Niederschläge erfolgen; denn der Wasserdampf verdichtet sich vorzugsweise auf der dem Winde zugekehrten Seite der Gebirge, so daß bei der sich periodisch ändernden Windrichtung bald die eine, bald die andere Seite die Rolle der Verdichtung übernimmt.

In Guyana und an der Nordküste Brasiliens zeigt sich ein entschiedenes Maximum des Niederschlages im Frühjahr, während die geringe Regenmenge des Herbstes daselbst einen schroffen Gegensatz bildet gegen die Umkehrung der Erscheinung auf den kleinen Antillen. Das Frühlingsmaximum rückt nach Norden hin immer entschiedener in den Sommer hinein, und auch in Florida fällt bei höchstem Sonnenstande die größte Regenmenge. Ein zweites auf den Antillen sehr kenntliches Herbstmaximum rückt dem Sommer in Florida so nahe, daß der Spätherbst hier fast regenlos wird, während er auf den kleinen Antillen gerade sehr mächtige Niederschläge liefert.

Nach den Berichten der Seefahrer, erzählt Dove, wirkt oft eine kleine Insel so auf die über ihr befindliche Atmosphäre, daß man die Lage der Insel an der über ihr stehenden Wolke erkennt, wenn die Insel selbst noch unter dem Horizont verborgen ist. Dampier sagt ausdrücklich, daß es auf der offenen See stets viel weniger regne als in der Nähe des Landes oder der Inseln. Dadurch erklärt sich, daß im Innern der Continente und selbst an den Küsten derselben die regenlose Zeit viel bestimmter aus den Ergebnissen der Beobachtungen hervortritt als auf kleinen Inseln. Dove stellt zur Vergleichung das isolirt aufsteigende St. Helena mit Rio Janeiro und Gongo Soco bei Villarica zusammen. Es zeigt sich,

*) A. a. O. S. 14.

daß an den letztgenannten Orten die trockne und nasse Jahreszeit sehr regelmäßig ineinander übergehen, während die letztere auf St. Helena fast spurlos verschwunden ist. Im Jahre 1845 fielen daselbst 19,41, im Jahre 1842 aber 90,46 engl. Zoll. Ueberdies erscheint hier der Einfluß der Höhe sehr groß.

Für die heißen Gegenden der Erde, sagt Dove, ist ersichtlich, welchen Einfluß die Verwüstung äußert, die man Cultur des Landes nennt. „Die Inseln des grünen Vorgebirges, auf welche mitunter mehrere Jahre kein Tropfen Regen herabfällt, und die Canaren haben, als der Urwald unter der Axt der europäischen Ansiedler fiel oder wie auf den Azoren niedergebrannt wurde, sich immer mehr in nackte Felsen verwandelt, denn mit dem Walde, der sie bekleidete, sind die Regen verschwunden oder seltner geworden, welche, als er noch den Boden beschattete, die Erde tränkten. Aus ähnlichen Gründen versiegten, wie Boussingault von Südamerika berichtet, die Quellen in der Nähe einer schnell aufblühenden Niederlassung. Aber die langen Kämpfe, welche dem Losreißen der Colonien von Spanien folgten, verscheuchten die Ansiedler, der Urwald gewann das ihm abgewonnene Terrain wieder und seit der Zeit ist mit dem wieder häufiger gewordenen Regen der alte Wasserreichthum zurückgekehrt.

Wie aber auch die äußere Oberfläche der Erde sich verändern mag, das Feste bleibt fest, das Flüssige flüssig, denn was sind dem großen Gegensatze der Meere und Continente gegenüber die winzigen Veränderungen durch Ablassen der Seen und Austrocknen der Sümpfe. Steht nun die Sonne über der wasserreichen südlichen Erdhälfte, so wird ein größerer Antheil der durch sie erregten Wärme gebunden, als wenn sie, in nördlichen Breiten verweilend, eine überwiegend feste Grundfläche bestrahlt. Der Wasserdampf, der sich von der Herbstnachtgleiche bis zur Frühlingsnachtgleiche über der südlichen Erdhälfte in überwiegendem Maße entwickelt, kehrt in der anderen Hälfte des Jahres zur Erde als Regen oder Schnee zurück, und zwar überwiegend auf der nördlichen Erdhälfte. Den schönsten Beleg für die von mir (Dove) bei der Erläuterung der Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche geltend gemachte Ansicht, daß im großen Ganzen die Atmosphäre eine Dampfmaschine sei, deren Wasserreservoir die südliche Erdhälfte, der Condensator die nördliche, eine Ansicht, welche neuerdings Maury auf eine andere Weise, nämlich durch einen Vergleich der Wassermenge der Ströme beider Erdhälften zu bestätigen gesucht hat, liefern die Regen der Monsoons."

Die Regen der Monsoons erfolgen, wie die tropischen, bei höchstem Sonnenstande. Sobald die Sonne nördlich zu dekliniren beginnt, verliert sich der strenge Winter Nord-Asiens rasch; über der ganzen Ländermasse dieses Continentes treten dann verhältnißmäßig hohe Temperaturen an die Stelle der vorher niedrigen. Und in Folge dieser raschen Temperaturerhöhung dehnt sich die Luft so stark aus, daß in Peking der Druck der Luft, abgesehen von den mit ihr vermischten Wasserdämpfen, im Juli $15^1/_2$ Linien geringer ist, als im Januar, nämlich 9 Linien unter dem Jahresmittel herabsinkt, während er im Januar 6,5 über dasselbe sich erhoben hatte. Während der Zeit der Ausdehnung oder, wie Dove sich ausdrückt, Auflockerung der Luft auf der nördlichen Erdhälfte zeigt sich aber eine Vermehrung des Druckes auf der südlichen; und diese Differenz wird keineswegs ausgeglichen durch die in den wärmeren Monaten größere, in den kälteren geringere Spannkraft der mit der Luft gemischten Wasserdämpfe.

Im Sommer gewinnt Asien den Charakter der Windstillen; der Südost-

passat folgt der nach nördlichen Zeichen gehenden Sonne, überschreitet den Aequator und verwandelt sich durch die nun sich mindernde Drehungsgeschwindigkeit durch Süd immer mehr in Südwest. Am Südabhange der Ghates und des Himalaya verliert derselbe in immer erneuerten Niederschlägen den ihn begleitenden Wasserdampf und veranlaßt dadurch Regen, gegen deren Mächtigkeit die tropischen Regen der Passatzone erheblich zurücktreten.

Die Monsoons sind nach Dove nicht, wie man früher glaubte, eine locale Modification des Passates nur innerhalb der heißen Zone, sondern haben ihren Entstehungsgrund außerhalb der Tropen im Innern des asiatischen Continents. Sie auf eine bloße Temperaturdifferenz zwischen See und Küste zurückzuführen, widerlege sich schon dadurch von selbst, daß der Südwest-Monsoon weit über die Stelle der temporär höchsten Temperatur hinausgreift, also dann von wärmeren Stellen nach kälteren hinfließt, oder mit anderen Worten weit hinauf eine hohe Wärme verbreitet, nicht diese vorfindet oder sie zu vermindern strebt.

Der Oberst Sykes bemerkt bezüglich des Wasserdampfes, welchen der Südwest-Monsoon vom Aequator bringt, daß er mit großer Heftigkeit gegen die Westseite der mauerartig aufsteigenden Ghates getrieben und durch diese Barriere gezwungen werde, in eine kältere Gegend als die ist, in der er von Natur fließt, aufzusteigen. Dadurch werde er rasch condensirt, und der Regen falle in Strömen herab.

In Hinsicht auf die im Jahre vorkommenden Gegensätze der Trockenheit und Feuchtigkeit hebt Dove als die excessivsten Klimate das nördliche Hindostan und China hervor, und schließt daran die Regel: „überall, wo bei höherem Sonnenstande Aequatorialströme wehen, bei niederem Polarströme, ist die jährliche Veränderung bedeutend, hingegen ist sie unbedeutend, wo das ganze Jahr die Windesrichtung nahe constant, oder wo die Abwechselung von Polar- und Aequatorialströmen im entgegengesetzten Sinne erfolgt."

Indem wir noch bemerken, daß, wie in der heißen Zone, so auch auf dem indischen Ocean die Regen der Sonne folgen, d. h. wie schon bemerkt, bei höchstem Sonnenstande erscheinen, verweisen wir bezüglich des Weiteren über die Regen der Monsoons und der Tropen auf die (S. 585) angezeigte Abhandlung von Dove, in der sich auch das vorhandene Beobachtungsmaterial in besonderen Tabellen zusammengestellt findet.

An den äußeren Grenzen des Passates werden die Regen bei dem niedrigsten Sonnenstande durch herabgehende äquatoriale Luftströmungen gebracht. Man nennt diese Regen subtropische im Gegensatze zu den betrachteten tropischen, welche an der inneren Berührungsgrenze der Passate bei höchstem Sonnenstande durch aufsteigende Luftströme entstehen. An den Grenzen der Tropen giebt es also eine Winterregenzeit, während die Sonne rücksichtlich des betreffenden Ortes nach der entgegengesetzten Seite des Aequators abweicht.

Reflectirt man nun auf die Stelle, wo die Luft als Aequatorialstrom aufsteigt und zugleich auf die, wo sie herabkommt und der in ihr enthaltene Wasserdampf in Folge der Temperaturerniedrigung als Regen herabfällt, so sieht man wohl ein, daß zwischen diesen beiden Stellen Gegenden sein müssen, über welche die Luft in horizontaler Richtung (als unterer Passat) nach der Stelle der Verdünnung hinfließt. Die beiden Stellen des mächtigsten Niederschlages müssen

daher durch eine regenlose Zone von einander getrennt sein, welche in der jährlichen Periode mit jenen und der ganzen Verbreitung des Passates herauf und herunter rückt. „Bei der gegen die Breite der Passatzone nicht erheblichen Größe der Verschiebung bleibt die Mitte zwischen den Gebieten der tropischen und subtropischen Regen das ganze Jahr hindurch regenlos, und natürlich findet sich von den Rändern zur Mitte hin ein allmäliger Uebergang durch stets abnehmende Regenmengen bis zur vollen Regenlosigkeit. Diese regenlose Grenzscheide trennt in fast ununterbrochenem Zusammenhange sowohl die tropischen als auch die Monsoonsregen von den subtropischen. Wegen des weit nördlichern Hinaufgreifens des Monsoons nimmt diese regenlose Zone daher die Gestalt eines großen Bogens an, dessen hohle Seite Nordwest zugewendet ist und welcher von dem Meer ohne Wasser, der „„Sahara-belama““ der Araber, durch Ober-Aegypten und Iran nach den Wüsten Central-Asiens sich erstreckt *).“

Gondar und Goscam zeigen noch tropische Regenverhältnisse; die Zeit von October bis April ist regenlos, aber von Mai bis September fallen Regen. Dagegen herrschen auf der Kette von Mokattan zwischen dem Nil und dem rothen Meere subtropische Winterregen wie in Palästina, während unmittelbar daneben Koseir schon dem regenlosen Scheidegebiete mit stets heiterem Himmel angehört **).

Nach L. v. Buch haben die an den Grenzen der tropischen Zone im Winter herabfallenden Regen und die im südlichen Europa regelmäßig eintretenden Herbstregen eine gemeinschaftliche Ursache, nämlich in den an den äußeren Grenzen der Passate herabkommenden Aequatorialströmen. Mit Rücksicht hierauf, bemerkt Dove ***), liegt es nahe, die Sommerregen Mittel-Europas auf dieselbe Ursache zurückzuführen, und anzunehmen: 1) daß bei nördlicher Abweichung der Sonne, wo die ganze Erscheinung des Passates am weitesten nördlich liegt, jene oberen Ströme in größter Mächtigkeit den Boden erst im mittleren Europa berühren, und daher dann hier im Kampfe derselben mit nördlichen Strömen das meiste Wasser herabfällt; 2) daß zur Zeit der Herbstnachtgleiche diese Ströme erst südlicher den Boden treffen, und daher die nördlichen Küstenländer des mittelländischen Meeres in den Herbstmonaten die mächtigsten Niederschläge haben; 3) daß bei südlicher Deklination der Sonne dieses südliche Herabrücken im Extreme vorhanden sein wird, und daher die Regen der subtropischen Zone in Nord-Afrika Winterregen sind. Zu diesen drei Fällen fügt Dove noch einen vierten hinzu, nämlich 4) daß zur Zeit der Frühlingsnachtgleiche die Erscheinungen denen der Herbstnachtgleiche ähnlich sein werden, also den Herbstregen Süd-Europas eine Frühlingsregenzeit entsprechen wird.

Die Gesammtheit der Regenverhältnisse der gemäßigten Zone (auf der europäischen Seite) faßt nun Dove unter folgendem Gesichtspunkte zusammen:

„Die Winterregenzeit an den Grenzen der Tropen tritt, je weiter wir uns von diesen entfernen, immer mehr in zwei durch schwächere Niederschläge verbun-

---

*) Dove in Zeitschrift für Allg. Erdkunde. Neue Folge. Bd. II. Hft. 1.

**) Vergl. Fournet: Recherches sur la disposition des zones sans pluie et de deserts. 1844.

***) A. a. O. S. 104; auch Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 375.

dene Maxima auseinander, welche in Deutschland in ein Sommermaximum wieder zusammenfallen, wo also temporäre Regenlosigkeit vollkommen aufhört."

Ein Gebirge, das sich von Ost nach West erstreckt, wirkt hiernach wie eine südlichere Lage, weil es die Aequatorialströme in einer Breite auffängt, wo sie ohne das Gebirge noch nicht den Boden berühren würden. Daher fallen auch die Maxima in Italien mehr in den März und October, als in Frankreich, wo sie nach dem Sommer hin zusammenrücken, und richten sich hier wesentlich nach der Oeffnung der Thäler. Das mittelländische Meer erscheint aber im Sommer als in eine locale Verlängerung des Passates aufgenommen. Dies folgt aus Beobachtungen, die in Palermo mit Elimination des Einflusses der Tag- und Nachtwinde angestellt sind, so wie auch daraus, daß die Lage dieses Meeres zum tropischen Continent die entgegengesetzte von jener ist, durch welche die Monsoons im indischen Meere bedingt sind.

Für die allmälige Verminderung der regenlosen Zeit durch Zusammenrücken des die Regenzeit beginnenden und dieselbe schließenden Maximums, wenn wir uns von den Südküsten Europas dem mittleren nähern, bietet Italien die sichersten Anhaltspunkte dar, für welches lange, durch Toaldo angeregte Beobachtungsreihen vorliegen, die von Schouw *) gesammelt und zum Behufe einer meteorologischen Monographie Italiens vollständig bearbeitet sind. Der letztere theilt Italien in vier Abtheilungen, in das Gebiet des Apennins, in eine cis- und transpadanische Zone und in das Gebiet der Alpen. Dove **) hat die beiden mittleren vereinigt und in den folgenden vier Tafeln die Stationen aufgeführt, für welche die Zahl der Beobachtungsjahre mehr als 10 beträgt. Alle Angaben sind in französischen Zollen.

1. Apenninen.

	Palermo 21	Molfetta 13	Ariano 11	Rom 40	Siena 10	Florenz 16	Camajore 40
Januar	2,77	1,83	2,92	3,20	1,82	2,52	5,11
Februar	2,13	1,72	2,13	2,07	1,67	2,61	3,50
März	2,72	1,58	2,11	2,48	3,38	2,91	3,84
April	1,18	1,27	2,64	2,15	2,47	2,70	4,14
Mai	0,91	1,53	2,67	2,21	3,53	2,43	3,02
Juni	0,69	1,08	1,97	1,58	2,76	1,94	3,10
Juli	0,19	0,77	1,36	0,68	2,52	1,52	1,87
August	0,32	1,65	2,17	0,94	1,37	1,47	2,16
September	2,15	2,17	1,85	2,00	3,72	3,37	3,91
October	2,92	2,28	3,41	4,37	4,33	4,45	6,99
November	2,46	2,07	4,14	3,85	3,74	4,07	7,60
December	2,97	2,11	3,68	3,47	3,77	4,39	5,68

*) Tableau du climat et de la vegetation de l'Italie. Copenhague 1839.
**) In Zeitschr. für Allg. Erdkunde. Bd. II. Hft. 1.

2. Ebene des Po.

	Bologna 18	Parma 13	Triest 12	Pirano 15	Padua 48	Chioggia 26	Mailand 68	Turin 15
Januar	0,79	2,63	3,24	3,43	2,44	2,89	2,62	2,40
Februar	1,18	2,21	1,64	1,75	1,75	1,57	2,00	0,82
März	1,31	2,19	2,62	2,03	2,03	1,69	2,11	2,19
April	1,28	1,65	2,62	2,08	2,08	1,90	2,98	4,27
Mai	1,33	2,93	3,27	2,83	2,83	2,04	3,50	4,16
Juni	2,65	1,57	2,99	3,39	3,39	2,55	2,98	4,41
Juli	1,20	1,39	3,51	2,56	2,56	2,66	2,76	3,49
August	1,59	1,71	2,90	2,46	2,46	2,07	2,88	2,61
September	2,08	2,93	4,64	2,83	2,83	2,89	3,07	2,53
October	2,65	4,43	3,63	3,68	3,68	3,46	3,06	3,34
November	1,85	3,34	4,01	4,41	4,41	3,22	3,88	3,07
December	1,67	2,45	4,39	2,40	2,40	2,55	2,89	1,98

3. Gebiet der Alpen.

	Brescia 11	Verona 36	Vicenza 17	Chio 18	Valdobbiadene
Januar	3,52	2,12	3,49	3,99	4,34
Februar	4,04	1,73	2,27	3,49	3,24
März	2,76	1,82	2,85	3,40	3,70
April	3,15	2,59	3,45	3,94	4,67
Mai	4,45	3,44	2,72	3,71	4,42
Juni	3,68	3,61	4,03	4,49	5,48
Juli	2,67	3,66	2,89	4,61	5,24
August	3,92	2,67	2,74	3,68	3,60
September	3,41	3,32	3,92	3,51	4,82
October	6,55	4,07	4,88	5,43	6,64
November	5,72	3,00	4,72	6,41	7,20
December	4,36	2,53	2,94	4,04	2,01

4. Gebiet der Alpen.

	Conegliano 14	Sacille 14	Udine 16	Tolmezzo 22	Cercivento 17
Januar	3,28	4,45	4,28	6,45	4,41
Februar	2,73	2,88	2,05	5,22	3,21
März	3,47	3,96	4,36	5,47	2,83
April	2,62	3,35	5,67	6,37	5,93
Mai	4,29	5,41	4,30	6,44	5,52
Juni	5,41	5,63	6,83	7,64	8,25
Juli	3,60	5,45	6,27	8,10	7,69
August	3,76	4,21	4,71	6,37	5,87
September	3,57	4,34	5,69	7,56	6,13
October	5,67	6,87	7,12	10,12	8,56
November	5,56	6,87	5,73	12,92	10,60
December	3,80	5,03	5,27	6,81	5,40

In der folgenden Tafel, welche die Mittel der Jahreszeiten und des Jahres enthält, ist der erhebliche Einfluß, welchen die Lage der Gebirge auf von Oben herabkommende Ströme äußert, berücksichtigt.

Sicilien.

	Anzahl	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr	Anz. b
Palermo	24	7,86	4,82	1,20	7,53	21,4	
Nicolesi	8	10,10	7,04	0,64	6,72	24,5	
Westseite der Apenninen.							
Neapel	8	8,18	6,50	3,10	11,22	29,1	
Leonola	1	11,52	9,71	1,44	15,17	37,9	
Rom	40	8,74	6,84	3,21	10,22	29,0	
Siena	10	7,27	9,39	6,64	11,80	35,1	
Florenz	16	9,53	8,04	4,94	11,89	34,4	
Cascina	8	9,68	7,25	4,08	13,37	34,4	
Pisa	6	10,35	9,04	5,68	19,44	38,7	26
Ostseite der Apenninen.							
Lecce	1	7,18	4,21	1,78	4,57	17,7	
Molfetta	13	5,65	4,37	3,51	6,53	20,0	15
Altamura	8	6,01	7,50	3,82	5,34	22,7	
Ariano	11	8,73	7,42	5,50	9,41	31,1	
Teramo	2	5,09	4,51	3,90	4,85	18,3	
Macerata	4	7,94	8,39	7,43	11,64	35,4	
Fossanbrone	7	10,01	8,78	7,27	10,94	35,6	8
Südseite der Apenninen.							
Camajore	40	14,29	11,01	7,13	18,50	50,9	
Genua	4	13,68	12,70	6,24	19,01	51,6	
Gebiet des Po diesseits.							
Triest	12	9,28	8,51	9,40	12,28	41,2	15
Pirano	15	9,42	6,82	7,71	15,05	40,1	18
Venedig	7	6,45	7,97	8,62	11,68	32,1	19
Padua	48	6,59	6,94	8,41	9,92	31,9	
Chioggia	26	7,01	5,63	7,28	9,57	29,4	27
Mantua	7½	6,25	7,83	6,66	7,92	28,7	
Mailand	68	7,60	8,51	8,61	11,92	35,7	
Turin	15	5,20	10,62	10,51	8,94	35,3	
Gebiet des Po jenseits.							
Ferrara	3	9,14	7,58	5,72	6,56	29,0	
Bologna	18	3,63	3,62	5,44	6,31	19,3	
Parma	13	7,29	6,77	4,66	10,71	29,7	14
Casale	2	5,24	8,95	2,64	9,80	26,6	

	Anzahl	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr	Anz. b
Alba	3	6,82	5,74	4,18	9,09	25,8	
Toscana	1	4,15	3,88	3,21	5,92	17,2	
Gebiet der Alpen.							
Cercivento	17	13,02	14,28	21,81	25,28	74,7	20
Tolmezzo	22	18,19	18,28	22,11	30,60	90,0	25
Udine	16	12,61	14,33	17,80	18,54	63,1	18
Gorizia	5	12,87	15,21	13,81	17,44	60,6	6
Spilimbergo	6	9,96	9,76	16,43	17,36	53,3	
Sacile	14	12,37	12,72	15,29	18,08	57,8	15
Belluno	3	10,44	10,63	12,55	10,65	44,8	6
Ceneda	3	17,41	11,44	14,00	16,52	55,9	
Montebelluno	5	11,62	10,85	13,00	10,68	44,8	6
Conegliano	14	9,81	10,39	12,77	14,80	47,9	17
Valdobbiadene	21	11,60	12,80	14,32	18,65	57,7	23
Feltre	9	11,83	13,43	17,83	22,91	65,8	10
Castelfranco	8	7,82	8,69	8,22	11,39	36,1	
Creszano	1	2,11	22,44	2,71	28,58	55,8	
Marostica	4	7,32	10,52	10,43	11,09	39,4	
Schio	18	11,52	11,05	12,78	15,34	49,2	21
Vicenza	17	8,70	9,03	9,66	13,52	41,2	18
Trente	4	9,97	7,93	8,92	10,89	40,4	5
Verona	36	6,37	7,85	9,94	10,39	34,6	36
Salo	3	7,45	10,94	9,93	12,52	40,8	
Cocaglio	2	9,38	8,90	4,43	8,82	31,5	
Brescia	11	9,92	10,36	10,27	15,68	60,0	12
Bergamo	3	8,54	8,00	12,42	11,69	40,6	
St. Bernhard	14	16,81	13,95	11,07	14,01	55,8	14

Diesen Tafeln fügt Dove noch folgende Ergänzungen hinzu. Für Palermo, Neapel und Genua sind die Regenmengen in Millimetern, für die übrigen Stationen in Pariser Linien ausgedrückt.

	Palermo 48	Neapel 14	Rom 70	Genua 10	Mailand 87	Udine 40	Triest 20
Januar	71,74	90,2	43,35	100,01	29,86	42,3	35,20
Februar	63,55	88,5	38,32	132,69	26,54	33,4	32,05
März	72,69	65,2	28,10	85,37	26,52	35,5	32,06
April	42,69	66,1	30,32	115,80	37,01	52,0	32,04
Mai	26,60	48,2	26,36	110,21	44,01	65,1	43,75
Juni	17,21	25,0	23,71	50,01	35,39	73,9	36,95
Juli	5,80	8,7	16,24	52,52	32,61	73,4	42,96
August		41,5	8,15	114,99	38,55	59,0	40,28
September		71,9	11,68	173,30	38,86	73,5	89,17
October		101,2	28,41	143,74	50,92	79,6	73,38
November		104,4	52,80	173,02	48,14	65,5	48,45
December		88,1	47,60	94,26	34,48	46,7	30,99
		799,0	29'',59	1345,92	36'',91	58'',33	42'',27

Man sieht hier deutlich, wie die beiden Maxima allmälig vorrücken. Das Frühlingsmaximum fällt in Palermo auf den März, in Neapel und Rom auf den April, in Mailand auf den Mai, in Udine in den Juni, während das in Neapel und Rom auf den November fallende Herbstmaximum in Mailand, Udine und Triest dem October angehört.

Dove macht die Bemerkung: „Je länger der Zeitabschnitt ist, für welchen die Niederschläge in einer Summe vereinigt werden, desto mehr verwischt sich die Eigenthümlichkeit der Vertheilung, da in den meisten Fällen die für ein bestimmtes Gebiet zufällig passende Zeiteintheilung auf einem anderen Gebiete ganz heterogene Zustände vereinigen wird. Daher scheint mir dringend nothwendig, endlich die Sitte ganz aufzugeben, nur die Regensumme für die Jahreszeiten oder gar nur für das ganze Jahr zu veröffentlichen. Während allerdings Monatsmittel erst aus längeren Beobachtungsreihen sichere Werthe geben, bieten sie doch den Vortheil dar, die trockne und Regenzeit, wo sie sich mehr oder minder scharf abgrenzen, deutlich hervortreten zu lassen, und selbst da, wo zu allen Zeiten des Jahres Regen fallen, die Zu- und Abnahme innerhalb der jährlichen Periode mit größter Bestimmtheit zu bezeichnen."

Die folgenden Tafeln enthalten Bestimmungen für das südliche Frankreich. Die Stationen Toulon, Marseille, Arles, Montpellier, Viviers, Nismes, Béziers, Rieur, Villefranche, Aurillac, Joyeuse und Bourg sind von Dove aus Gasparin's Traité d'agriculture entnommen, denen er St. Hippolyte de Caton, Montpellier, Sorèze, Toulouse, Rodez, Bayonne, Avignon, Orange, Alais, Privas, St. Rambert, Dijon, St. Jean de Losne, Pouilly, Montbar als neue Stationen, die aus längeren Reihen als jene von Gasparin bestimmt sind, hinzugefügt hat. Das eilfjährliche Mittel der im Gebiete der Saone enthaltenen Messungen der Commission hydrométrique de Lyon hat Dove aus den jährlichen Veröffentlichungen der Journale derselben berechnet.

Mündung der Rhone.

	Toulon	Marseille	Arles	Nismes 17	St. Hippolyte de Caton 13	Montpellier 26	Bézieres
Januar	54,3	36,8	32,1	44,4	52,96	76,6	49,4
Februar	27,3	51,1	47,1	49,6	58,10	45,5	28,4
März	33,8	27,9	70,4	47,1	63,72	61,8	40,2
April	40,8	44,4	29,5	50,1	109,19	60,2	38,3
Mai	40,6	46,2	36,7	56,6	86,23	61,7	37,9
Juni	17,9	18,9	38,8	28,5	42,81	50,0	31,6
Juli	9,2	10,1	18,7	27,3	24,82	22,0	7,4
August	17,2	26,1	24,1	33,6	23,03	33,4	11,3
September	66,7	51,5	56,4	92,1	137,42	73,2	23,0
October	71,9	85,2	91,9	64,6	119,10	140,5	31,6
November	67,9	68,9	89,0	99,4	92,92	87,2	83,2
December	29,4	44,9	79,1	49,1	100,89	110,5	34,0
Jahr	467,8	512,0	610,8	612,2	911,29	822,6	438,5

Nordabhang der Pyrenäen.

	Sorèze 33	Rieux	Villefranche	Toulouse 25	Rodez	Aurillac
Januar	89,95	44,39	24,3	49,59	66,83	87,4
Februar	105,23	48,5	40,4	41,98	59,33	76,4
März	113,95	82,3	52,2	47,48	99,00	72,8
April	120,47	63,6	36,1	63,90	129,30	65,6
Mai	144,56	77,7	73,0	65,23	96,83	130,5
Juni	95,92	90,2	70,6	69,94	68,33	83,8
Juli	89,17	65,3	49,2	39,26	38,67	88,3
August	63,06	36,2	94,1	41,32	54,00	107,5
September	98,31	70,8	95,8	53,82	51,00	135,1
October	112,70	37,0	94,3	56,51	52,33	93,9
November	112,87	59,0	159,8	47,90	80,93	131,3
December	119,61	51,4	82,1	39,13	97,29	77,5
Jahr	1266,0	726,9	868,9	626,06	893,84	1150,1

Thal der Rhone.

	Avignon 10	Orange 33	Alais 35	Joyeuse 33	Viviers 40	Privas 8	Lyon
Januar	52,56	33,95	86,91	84,9	67,0	60,14	49,1
Februar	33,84	36,04	61,39	81,8	46,1	29,57	42,1
März	46,23	43,93	61,27	65,9	52,0	74,43	40,5
April	41,73	59,74	84,31	111,4	68,2	108,57	58,0
Mai	71,51	74,02	90,16	114,6	79,4	68,16	86,1
Juni	37,44	48,03	45,43	63,2	62,2	107,00	72,0
Juli	18,95	27,43	52,22	83,4	51,0	72,00	89,9
August	38,80	38,80	44,04	56,1	63,5	51,28	64,4
September	85,27	126,02	132,35	155,8	112,0	226,71	86,2
October	58,65	106,90	140,45	185,2	128,1	202,71	73,3
November	72,64	90,58	111,44	158,7	113,3	215,14	75,1
December	21,20	54,88	81,10	78,7	69,8	62,14	39,6
Jahr	578,82	740,30	991,07	1240,7	1171,9	1278,55	776,6

	St. Rambert 6	Bourg de l'Ain	Dijon 30	St. Jean de Losne 30	Pouilly	Montbar	Gebiet der Saone 11
Januar	130,9	92,4	50,0	57,3	60,8	50,2	50,96
Februar	102,0	81,2	43,1	45,6	51,4	42,3	49,28
März	116,2	103,7	43,2	41,9	48,8	42,1	49,45
April	82,5	74,4	52,4	57,5	63,9	53,1	71,26
Mai	140,6	110,4	60,7	58,4	66,9	64,3	68,99
Juni	115,1	96,9	62,6	66,9	70,1	72,3	90,51
Juli	100,9	87,9	52,5	67,9	52,0	53,2	73,67
August	92,0	101,5	63,1	70,9	68,3	59,6	96,05
September	195,9	105,9	60,3	63,9	66,4	66,1	76,60
October	226,8	123,9	75,8	94,8	84,4	72,9	92,96
November	195,5	123,9	80,5	98,0	84,8	75,3	69,78
December	95,3	69,8	52,2	55,5	73,4	50,4	53,79
Jahr	1592,0	1171,9	696,4	782,3	569,6	652,0	864,30

Das Frühlingsmaximum fällt hiernach im Thale der Rhone in den Mai, im Gebiet der Saone aber erst in den Juni. In der Nähe von Paris erkennt man ein Sommermaximum, von dem es unentschieden bleibt, ob es noch auf den Juni fällt oder bereits in den Juli. Aus der Vergleichung der verschiedenen Beobachtungsreihen für Paris erhält man folgendes:

Paris.

Anzahl der Jahre	63 bis 1827	30 1806—36	30 (Hof) 1817—1848	30 (Terrasse) 1817—1848
Januar	37,9	32,69	40,37	33,87
Februar	40,9	31,37	41,17	34,28
März	27,5	34,03	39,52	33,45
April	53,2	37,04	45,22	39,14
Mai	60,0	53,25	55,37	50,06
Juni	61,4	46,70	53,24	49,39
Juli	59,1	47,57	50,22	46,96
August	51,4	44,78	50,54	46,35
September	50,5	45,56	59,35	54,08
October	37,1	41,38	48,25	40,95
November	46,9	43,85	54,56	46,13
December	37,6	40,53	41,52	34,87
Jahr	563,5	499,7	579,3	509,5

Im Fortschreiten nach Norden verschwindet das schon in Frankreich schwächere Frühlingsmaximum endlich ganz, während das Herbstmaximum sich erhält, das an der Westküste von Großbritannien in den Regencurven allein hervortritt. Dove giebt in den nachstehenden Tafeln die Regen an der Westseite von England und in dem derselben vorliegenden Irland, denen er andere vieljährige Stationen in England zugefügt. Die Quellen bezüglich des Beobachtungsmaterials sind von Dove am betreffenden Orte seiner Abhantlung (S. 119) angegeben.

Normannische Inseln und Irland.

	Guernsey 9	Limerick 7½	Armagh 12	Dublin 16	Limerick 7 gleichzeitig	Dublin 7 gleichzeitig
Januar	3,977	3,149	3,75	2,456	3,398	2,313
Februar	2,914	2,230	2,88	2,040	2,330	1,667
März	2,809	2,611	2,42	1,551	2,906	1,670
April	2,977	2,372	2,23	2,130	2,490	1,982
Mai	2,044	2,117	2,15	2,200	2,117	2,536
Juni	1,883	2,262	2,86	2,341	2,262	2,098
Juli	2,123	3,167	3,19	2,782	3,167	2,736
August	2,152	3,832	2,82	2,959	3,832	2,987
September	2,119	2,794	2,58	2,331	2,794	2,013
October	5,131	3,440	3,48	2,978	3,440	3,097
November	3,879	3,898	3,35	3,058	3,897	3,432
December	3,496	2,271	2,97	2,296	2,271	1,861
Jahr	35,504	34,143	3,68	29,122	34,904	28,392

Westküste von Irland.

	Cahirci-veen	Castle-townsend	Kilrush	Westport	Markree	Killy-begs	Bun-crana	Port-rush
Januar	11,22	9,76	6,42	5,06	5,01	4,26	4,91	5,69
Februar	4,90	3,67	1,69	4,37	2,89	2,84	2,89	2,71
März	6,41	4,03	3,99	5,61	3,07	2,20	3,36	3,45
April	2,17	1,53	1,75	4,85	2,23	1,58	1,78	1,20
Mai	2,31	1,87	0,96	1,24	1,53	1,82	1,69	1,91
Juni	4,71	4,87	2,50	4,55	2,67	3,08	2,83	3,12
Juli	5,51	4,79	2,83	3,78	5,20	2,84	3,41	2,86
August	5,31	3,80	2,85	3,43	5,15	2,93	3,30	3,52
September	2,63	0,68	0,79	2,02	2,40	2,84	2,48	1,36
October	7,74	4,59	4,44	5,55	4,42	3,46	5,20	5,10
November	2,13	0,82	2,10	2,60	3,68	3,25	5,04	4,34
December	4,33	2,12	2,26	2,80	2,06	2,10	2,39	1,98
Jahr	59,37	42,53	32,58	45,86	40,31	33,20	39,28	37,24

Inneres und Ostküste von Irland.

	Dun-more	Cour-town	Athy	Portar-lington	Dublin	Armagh	Killough	Dona-ghadee
Januar	8,33	7,98	5,10	4,11	5,28	5,81	4,00	5,45
Februar	0,97	0,95	0,93	0,52	0,49	2,83	1,18	1,51
März	3,87	3,44	2,37	2,07	2,38	2,65	2,47	3,38
April	1,69	2,14	1,29	0,94	1,77	1,54	1,03	1,30
Mai	1,26	1,17	1,35	0,82	1,31	1,92	1,29	1,40
Juni	3,82	3,08	2,68	2,51	2,71	3,13	2,63	2,93
Juli	2,67	2,67	2,73	2,59	3,48	3,81	2,73	2,16
August	2,80	1,65	2,91	1,61	2,01	2,56	2,06	3,18
September	0,66	0,63	1,24*	0,84	1,81	1,84	1,00	0,96
October	4,29	3,41	3,24	2,59	3,27	3,48	2,69	1,82
November	0,74	0,55	1,41	1,15	1,01	1,47	1,19	2,38
December	2,41	1,97	1,49	1,48	0,88	2,01	0,92	1,46
Jahr	33,54	29,64	26,74	21,23	26,40	33,05	33,19	27,93

Westküste von Südengland.

	Penzance 10	Bristol 5	Swansea 6	Pembroke 3	Liverpool 18	Lancaster 20
Januar	4,048	1,56	3,253	4,221	2,177	3,461
Februar	3,905	1,07	3,193	1,076	1,847	2,995
März	3,767	1,85	2,893	1,933	1,523	1,753
April	2,964	1,18	2,480	2,435	2,104	2,180
Mai	2,711	2,55	2,050	1,580	2,573	2,460
Juni	2,581	1,30	2,360	2,078	2,816	2,512
Juli	2,688	3,02	2,783	1,541	3,663	4,140
August	3,179	1,06	3,797	2,785	3,311	4,581
September	3,842	0,82	2,483	1,998	3,654	3,751
October	5,009	3,29	4,610	3,100	3,724	4,151
November	5,121	3,41	4,937	4,703	3,441	3,775
December	6,130	2,14	3,132	2,576	3,288	3,955
Jahr	45,945	23,25	37,951	30,127	34,118	39,714

Westküste von Nordengland und Schottland.

	Kendal 25	Isle of Man 7	White-haven 18	Carlisle 24	Dumfries 16	Glasgow 17	Castle Toward 7
Januar	5,299	2,387	4,000	2,128	3,095	1,595	2,957
Februar	5,126	2,513	3,558	2,308	2,837	1,741	4,121
März	3,151	2,533	2,757	2,209	2,164	1,184	4,307
April	2,986	2,754	2,244	1,559	2,017	0,979	2,314
Mai	3,480	1,784	2,147	2,355	2,568	1,641	3,257
Juni	2,722	1,931	4,197	1,961	2,974	1,343	3,336
Juli	4,959	2,241	5,214	3,317	3,256	2,303	3,721
August	5,039	3,379	4,340	3,240	3,199	2,746	4,293
September	4,874	3,697	4,017	2,827	4,350	1,617	4,943
October	5,439	4,569	5,103	3,062	4,143	2,297	5,471
November	4,785	4,817	4,727	2,784	3,174	1,904	5,707
December	6,084	4,636	3,957	2,809	3,142	1,981	5,757
Jahr	53,944	35,241	46,261	30,559	36,919	21,331	50,184

Südküste und Inneres von England.

	Gosport 10	Southampton 6	Selbourn 11	Tyfield 9	Orford 25	Bedford 11	Chatsworth 10	Alderney 10
Januar	2,18	4,172	3,947	2,668	1,666	1,888	2,196	1,786
Februar	2,13	2,006	2,665	2,196	1,479	1,764	1,652	2,125
März	2,10	1,709	2,832	1,726	1,268	1,719	1,322	2,843
April	2,70	2,757	2,198	1,196	1,610	2,213	2,078	2,096
Mai	2,12	1,832	2,640	1,962	1,643	2,555	2,118	2,559
Juni	1,81	2,581	1,954	1,933	2,253	2,673	2,286	2,742
Juli	2,71	2,963	4,028	2,682	2,501	2,596	3,006	3,468
August	2,63	2,702	3,175	2,367	2,344	3,460	2,435	3,153
September	3,14	2,825	3,655	2,571	2,511	3,386	2,289	2,565
October	3,38	4,752	3,500	2,451	2,483	3,043	3,079	3,125
November	3,61	3,529	3,823	2,300	2,344	2,876	2,634	3,205
December	3,92	3,057	3,417	2,533	1,615	1,860	2,569	3,238
Jahr	32,43	34,885	37,834	26,585	23,717	29,754	27,664	32,889

Inneres und Ostküste von England.

	Chiswick 15	London 62	Totenham 15	Ackworth 18	Lyndon	Twaite 9	Hull 4
Januar	1,46	1,291	1,71	1,660	1,573	1,812	1,32
Februar	1,64	1,166	1,57	1,731	1,378	2,181	0,49
März	1,33	1,063	1,55	1,443	1,315	1,796	0,82
April	1,65	1,245	2,05	2,027	1,465	1,875	0,63
Mai	1,64	1,482	2,20	1,833	1,610	1,437	0,61
Juni	1,98	1,700	2,01	2,542	2,249	2,696	2,17
Juli	2,43	2,224	2,46	3,084	2,516	1,640	2,90
August	2,33	1,710	2,30	2,712	2,247	2,104	1,95
September	2,90	1,801	2,79	2,703	2,016	2,620	2,53
October	2,38	1,977	2,33	2,414	2,158	2,352	1,77
November	2,41	2,038	2,43	2,609	1,943	2,129	1,71
December	1,68	1,564	2,32	1,782	2,740	1,747	1,41
Jahr	23,83	19,261	25,72	26,540	22,210	24,389	18,31

Inneres von England.

	Manchester 47	Bolton 10	Rochdale 16	Krumpsal 18	York 25	Redcar 8	Hyde 10
Januar	2,237	7,33	4,14	1,84	1,702	1,30	2,40
Februar	2,444		3,18	1,77	1,538	0,87	2,20
März	2,304	3,27	3,51	2,65	1,487	1,31	2,40
April	2,109	2,50	2,60	1,87	1,685	1,87	1,90
Mai	2,460	2,26	2,40	1,95	1,982	1,68	1,80
Juni	2,691	4,54	3,66	2,01	2,052	2,33	3,70
Juli	3,706	5,59	4,60	3,98	2,644	1,79	3,80
August	3,478	4,41	4,13	3,60	2,439	1,88	3,50
September	3,195	4,24	3,54	3,13	1,768	1,55	3,20
October	3,733	5,05	5,05	3,96	2,704	2,68	3,40
November	3,710	5,84	5,05	3,54	4,992	1,87	4,20
December	3,431	4,17	4,81	3,70	1,900	1,43	2,80
Jahr	35,518	49,20	46,67	34,00	26,893	20,56	35,30

Rochdale-Canal bei Manchester.

	Stattocks 8	Moß Lock 16	Blackstone Edge 21	Stubbins 16	Saverby Bridge 13	Toll Barr 10	Rippenden 9
Januar	2,73	1,86	2,15	2,24	2,01	2,79	2,73
Februar	2,11	1,79	2,33	2,41	1,83	2,67	2,73
März	1,48	1,80	2,26	2,20	1,52	2,90	2,17
April	1,25	1,61	2,08	1,85	1,83	1,66	1,34
Mai	1,29	1,31	1,73	1,47	1,28	1,44	1,80
Juni	2,78	2,25	2,53	2,44	2,83	3,24	3,15
Juli	3,67	3,38	3,28	2,79	3,09	3,39	3,24
August	2,70	3,14	3,51	2,97	2,64	3,04	3,10
September	2,87	2,72	3,31	3,05	2,60	3,28	3,04
October	2,62	2,97	3,45	3,40	2,39	3,92	3,46
November	3,83	3,65	4,00	4,17	3,29	4,69	4,18
December	3,50	2,62	3,64	3,50	2,30	3,33	3,10
Jahr	30,83	29,10	34,27	32,49	27,61	36,35	34,04

Als Ergänzung fügt Dove noch folgende Tabelle aus Kämtz' Lehrbuch der Meteorologie hinzu. Die Angaben sind in Pariser Linien.

Inneres von England und Schottland.

	Branrholm 10	Barrowby 10	Hackney Wick 10	New Malton 9	Edingburg	Kinfauns 11
Januar	25,8	16,3	12,8	25,5	22,6	24,7
Februar	34,5	18,2	22,5	20,1	19,2	18,2
März	24,2	12,0	15,5	21,4	16,4	15,5
April	20,2	16,4	23,6	27,0	17,8	20,5
Mai	28,4	18,3	27,6	33,0	21,7	27,7
Juni	24,2	23,7	20,7	24,1	18,9	19,3
Juli	35,2	35,2	20,6	24,8	27,4	24,9
August	27,0	27,5	22,0	31,2	28,9	25,8
September	35,3	40,2	27,2	26,7	25,8	19,6
October	43,5	29,8	26,6	35,2	28,5	24,8
November	31,3	26,3	24,5	34,4	29,3	28,8
December	24,5	23,0	23,9	36,9	23,2	28,2
Jahr	29,50	23,74	22,79	28,38	23,35	23,17

Die Abnahme der Regenmenge erfolgt in Irland von der Westküste nach der Ostküste hin allmälig; die Lage der Gebirgszüge ist aber hier, wie Lloyd gezeigt hat, in Beziehung auf die Stelle, wo das herabfallende Wasser gesammelt wird, das Bestimmende. Seine Menge ist am erheblichsten, wo nach Nordost ein Gebirge liegt, viel unbedeutender, wo dieses in Südwest vorliegt. In England wiederholen sich dieselben Verhältnisse in größerem Maßstabe. Dove*) unterwirft nun die im Gebiete der Seen von Cumberland und Westmoreland herabfallenden Regenmassen, die nach ihm nur von den Niederschlägen in den regenreichsten Punkten des Gebiets der Monsoone übertroffen werden, einer genaueren Betrachtung, um die Frage zu beantworten, wie ein Gebirge nicht nur auf der einen Seite den Niederschlag außerordentlich zu steigern, sondern auch das Maximum desselben möglicher Weise auf eine andere Jahreszeit zu verlegen vermag.

Abgesehen von dem aufsteigenden Luftstrome in der täglichen Periode, welcher namentlich in den Sommermonaten, wo derselbe am lebhaftesten wird, die reichsten Niederschläge liefert, können die Niederschläge durch horizontal bewegte Luft auf zweierlei Art entstehen; nämlich zunächst dadurch, daß feuchte, warme Luft niederer Breiten nach höheren hin fließt, wo dann der in ihr enthaltene Wasserdampf über dem immer kälter werdenden Boden sich verdichtet. Diese Niederschläge, welche Dove die des Stromes nennt, zeichnen sich weniger durch Gewaltsamkeit aus als durch anhaltende Dauer, die man bei uns mit dem Namen der Landregen bezeichnet. Die zweite Entstehungsart ist nach Dove die des Verdrängens zweier ungleich warmer Luftströme, da nach dem bereits (S. 582) erwähnten Princip der richtigen Hutton'schen Regentheorie bei der mittleren Wärme einer Mischung aus zwei ungleich erwärmten Luftmassen, die bei dieser Wärme als Dampf möglicher Weise vorhandene Wassermenge geringer ist, als die Summe der Antheile, welche die beiden getrennten Luftmassen enthalten können, weshalb denn jener Ueberschuß als Niederschlag herausfallen muß. Dieser letzteren Form gehören nun nach Dove in unseren Breiten vorzugsweise die starken Niederschläge an, nämlich die Westgewitter (s. d. Art. Gewitter), nach welchen sich die Luft stark abkühlt, die Graupelschauer unseres Frühlings (s. d. Art. Hagel), endlich im Winter die dichten Schneegestöber, auf welche bei sich aufheiterndem Himmel starke Kälte folgt. Zu diesen Niederschlägen sind nun auch die am Anfang und Ende der subtropischen Regen stattfindenden zu rechnen, während die in der Mitte fallenden mehr zu denen des Stromes gehören.

Der Einfluß eines Gebirges muß nun auf die in horizontaler Richtung stetig fortfließende Luft ein anderer sein als auf sich verdrängende Luftmassen, die in verschiedenen Richtungen nach einander einfallen. In jenem Falle wird die Luft genöthigt, an der Gebirgswand aufzusteigen und in einer gewissen Höhe sich zu einer Wolke zu verdichten, die von der Tiefe und aus der Ferne gesehen als eine unveränderliche Wolkendecke erscheint, jedoch, wenn man in sie hineingelangt, als aus rasch fortziehenden Nebelmassen bestehend erkannt werden kann. Diese letzteren lösen sich vielleicht über der auf der anderen Seite des Gebirges liegenden wärmeren Ebene wieder auf. Die Vergrößerung der Regenmenge durch das Gebirg wird hiernach vorzugsweise auf der dem feuchten Luftstrome zugekehrten Seite stattfinden. Wenn nun die Längenachse des Gebirges mehr oder minder senkrecht

*) A. a. O. S. 123.

auf der Hauptrichtung des warmen feuchten Luftstromes liegt, so werden reichliche Niederschläge am ganzen Fuße desselben erfolgen, und zwar besonders da, wo eine weite erwärmte Ebene diesem vorliegt, wie das Tiefland des Ganges dem Himalaya und die lombardische Ebene den Alpen, oder wo der Gebirgszug unmittelbar aus dem Meere sich erhebt, wie bei den Gates und dem nördlichen Theile der Apenninen. Hier werden die Regen in der Tiefe der Querthäler, die sich nach der Ebene öffnen, besonders stark, da der andringende Luftstrom in ein sich immer verengerndes Bette eingezwängt wird, und wo sie sich an dem Gebirgsstock auskeilen, demselben jedes seitliche Ausweichen unmöglich machen. Dove führt hierfür Tolmezzo am Tagliamento in Friaul als ein bezeichnendes Beispiel an. Die Rollen dieser Querthäler übernehmen, wie Dove sagt, bei den der Richtung des Luftstromes parallelen Gebirgsketten die Längenthäler bei einer Wendung dieser Thäler, oder wenn zwei vorher parallel gehende Züge sich zu einem Passe vereinigen, welcher analog dem Gotthard zwei in gleicher Richtung fortlaufende Längenthäler scheidet. Zu diesen Niederschlägen gehören die des Rhonethales. In den Gebirgen von Westmoreland, welche Elie de Baumont mit denen des Hundsrück, der Eifel und dem Taunus zu einem System vereinigt, streichen die Bergketten ON. $^1/_4$ O. nach SW. $^1/_4$ W. und diese Richtung erhält sich in den Bergketten des südlichen Theils von Schottland. In der Tiefe dieser Längenthäler erreicht die Regenmenge daher eine, fast mit jedem Schritte zunehmende Größe.

Der den Regen steigernde Einfluß, welchen ein Gebirge hinsichtlich der Jahreszeit äußert, ist nach Dove bedingt einmal dadurch, ob die herrschende Windesrichtung überhaupt im Verlaufe des Jahres eine stetige oder veränderliche ist, dann durch die Höhe des Gebirgs. Da nun die mittlere Windesrichtung im westlichen Europa, besonders im Spätherbst und Winter, mehr auf die Südwestseite fällt als im Sommer, wo sie nordwestlicher wird, so werden schon deshalb Herbst- und Winterregen sich steigern. Dann erfolgt aber auch im Herbst und Winter die Wolkenbildung bei der größeren relativen Feuchtigkeit der Luft viel niedriger als im Sommer. Daher äußert ein Gebirge, das nur etwas über 3000 Fuß aufsteigt, für die schon in den unteren Schichten sehr feuchten Luftströme im Herbst und Winter eine viel beträchtlichere Verdichtung, als für die trockne Luft des Sommers, oder mit anderen Worten, die niedrigen Wolken des Spätherbstes werden durch dasselbe aufgehalten, während die hohen Sommerwolken unbehindert darüber hinwegziehen. Daher wird sich hier ein bereits in südlicheren Breiten vorhandenes Herbstmaximum weiter nach Norden hinauf erhalten. Mit dem Frühlingsmaximum verhält es sich insofern anders, als das Meer überhaupt den Temperaturveränderungen des Luftkreises langsamer folgt, und daher den Eintritt der niedrigsten und höchsten Wärme verspätet, der Temperaturüberschuß des Meeres über die Luftwärme deshalb im Herbst, wenigstens im atlantischen Ocean und in der Ostsee, gerade im Herbst am größten ist.

Den Grund aber, daß in England nicht nur ein Verschwinden des Frühlingsmaximums, sondern eine Verwandlung desselben in ein Minimum stattfindet, sucht Dove im Osten. „Wer mit einiger Aufmerksamkeit den jährlichen Verlauf der Witterungserscheinungen unserer Gegenden betrachtet, dem kann es nicht entgehen, daß besonders im Vorfrühling mit großer Beständigkeit eine sehr trockne Zeit eintritt, während welcher bei andauernd heiterem Himmel und östlichen Winden bei sehr hohem Barometerstande die Nächte besonders kühl werden, obgleich

die Wirkung der bereits höheren Sonne am Tage sich energisch geltend macht. Durch specielle, in der Darstellung der Wärmeveränderungen durch fünftägige Mittel und anderen Abhandlungen veröffentlichte Untersuchungen habe ich (Dove) gezeigt, daß diese trockne Zeit des mittleren Europa dadurch hervorgebracht wird, daß dann am mittelländischen Meere bereits die oberen Ströme in großer Breite herabkommen und die Polarströme stauend, diesen so den Weg nach Süden versperren, daß sie gezwungen werden, als Ostwinde nach Westen zu fließen, um über dem atlantischen Ocean oder in Amerika endlich in die Aequatorialzone sich zu ergießen. Diese Ostwinde wirken daher dann auch auf die Witterungsverhältnisse von England, die daher einem Zusammenwirken von verschiedenen Ursachen ihre definitive Regelung verdanken."

Die Höhe eines Gebirges hat auch auf der den Regenwinden entgegengesetzten Seite einen wesentlichen Einfluß. Ist dieselbe bedeutend, so veranlaßt es zu allen Jahreszeiten Niederschläge, nämlich auf der dem Winde zugekehrten Seite, bei geringerer Höhe nur zu gewissen Zeiten. Man erkennt leicht, daß die auf der Windseite gebildeten Wolken leichter auf die andere Seite eines niederen Gebirges gelangen, als eines hohen. Bei feuchter Luft kann sich dann ein langer Wolkenstreif an jede Bergspitze lehnen, an welcher der erste Keim der Wolke sich bildete. Dagegen giebt wohl eine hoch aufsteigende Spitze besonders bei Hochgebirgen zum Entstehen einer Wolke Anlaß, die bei dem Fortziehen über der erwärmten Bodenfläche des Vorlandes sich wieder auflöst. Auf niedrigen Gebirgen deutet die einmal eingeleitete Wolkenbildung auf eine bereits in der Tiefe stattgehabte Feuchtigkeitszunahme, so daß ein Niederschlag wahrscheinlich wird. In dieser Beziehung gewähren denn auch solche Gebirge hie und da bestimmte Wetteranzeigen.

Die Regenverhältnisse von Cumberland und Westmoreland hat Dove einer besonderen Berechnung unterworfen, in welcher er Gruppen gleichzeitiger Beobachtungen gebildet hat. Wir verweisen dieserhalb so wie auch rücksichtlich mancher speciellerer Angaben auf die besagte Abhandlung (Hft. 2. S. 127), und entnehmen derselben hier nur noch die Bemerkung, daß die localen Einflüsse nicht als primäre Ursachen anerkannt werden dürfen, sondern als Modificationen universellerer, in den Gesammtbewegungen der Atmosphäre begründeter Ursachen, daß also die sogenannten Wetterscheiden nicht sowohl verschiedene Witterungsgebiete begrenzen, als den Verlauf bereits eingeleiteter Witterungsvorgänge modificiren.

In Hinsicht auf die südliche Erdhälfte macht Dove darauf aufmerksam, daß hier in Folge der mehr symmetrischen Vertheilung des Landes in Bezug auf die Annäherung der Continente an die Pole und der überwiegenden flüssigen Grundfläche der Atmosphäre alle Erscheinungen weit mehr in bandartigen Streifen die Erde umfassen, als in der nördlichen, wo unter verschiedenen Längen die Witterungsverhältnisse in gleicher geographischer Breite in schroffen Gegensätzen sich von einander unterscheiden. Hier läßt sich daher eher eine subtropische Zone erwarten, welche, die ganze Erde umfassend, auf der nördlichen Erdhälfte sich nicht findet. Eine von Dove *) aufgestellte Tabelle zeigt auch in der That zwischen Südamerika, Südafrika und Australien eine solche Uebereinstimmung, daß universelle Ursachen als das Bestimmende unmittelbar hervortreten.

Die Luft, welche unter den Tropen in der Gegend der Windstillen aufsteigt,

*) A. a. O. S. 133.

fließt nicht in der Höhe bis zum Pol, sondern kommt schon bei weitem früher herab, so daß sie ihren Wasserdampf da, wo sie den Boden berührt, niederschlägt. Nun ist aber der Ort, wo der Aequatorialstrom herabkommt, nicht immer derselbe, da ja die Gegend der Windstillen selbst mit der Sonne herauf und herunter rückt, und zur Zeit unseres Winters ihre südlichste, in unserem Sommer dagegen ihre nördlichste Lage hat. So kommen die oberen Aequatorialströme im Winter schon südlich von den Canaren und Azoren herab, woher denn diese in den Wintermonaten ihre Regenzeit haben. Wenn aber die Sonne höher nach Norden hinaufrückt, bewegt sich auch die Stelle des Aufsteigens weiter nach Norden, und das Herabkommen findet ebenfalls weiter nördlich an den Südküsten von Europa statt. Nun werden die heißen feuchten Aequatorialwinde durch die Alpen aufgehalten, an deren kalten mit Schnee bedeckten Gipfeln ihr Wasserdampf zu mächtigen Niederschlägen condensirt wird, während zugleich ihre hohe Temperatur zum Schmelzen des Schnees verwendet wird, wodurch die schon in Folge des Regens erhöhten Ströme zu Ueberschwemmungen Veranlassung geben. Indem aber so die Aequatorialströme ihren Wassergehalt verlieren, ist der Frühling des nördlichen Deutschlands, wo die Lombardei von heftigen Ueberschwemmungen heimgesucht wird, durch eine ungewöhnliche Trockenheit mit sehr hohem Barometerstand und dauernden Ostwinden charakterisirt. Die von Norden herbeiströmende Luft wird nämlich auf ihrem Wege nach Süden durch die herabkommenden Aequatorialströme gehemmt; es tritt eine Stauung, besonders im März, ein, so daß die stark gehemmte Luft einen seitlichen Ausweg sucht und als Ostwind so weit fließt, bis sie in ihrem Vordringen nach Süden nicht mehr gehindert ist. Sobald dieselbe nun auch in Europa im Süden durchgedrungen ist, geht der Ostwind nach Nord, und, weil dann ein Abfluß erfolgt, so fällt das Barometer gegen die gewöhnliche Regel. Ist endlich im Juni die Gegend der Windstillen so weit heraufgerückt, daß die oberen Aequatorialwinde die Alpenkette ungehindert überströmen können, so tritt auch für das nördliche Deutschland die Regenzeit ein. Im Herbst kehren aber die Verhältnisse des Frühjahrs wieder, so daß namentlich der September häufig durch trocknes Wetter charakterisirt ist *).

Aus den bisherigen Betrachtungen leuchtet zur Genüge ein, in welchem engen Zusammenhange die wässerigen Niederschläge mit den Luftströmungen der Atmosphäre stehen. Diese führen den Wasserdampf von Gegenden, wo eine reichliche Verdunstung stattfindet, hinweg nach anderen Gegenden, wo er verdichtet und niedergeschlagen werden kann. Man braucht nur einen Globus zur Hand zu nehmen, bemerkt Dove **), um sich zu überzeugen, daß gegen das große Wasserreservoir, was man Meer nennt, alle übrigen Wasserbehälter verschwinden, so daß es hauptsächlich Meerwasser ist, welches durch die Sonnenwärme in Dampf verwandelt bei späterer Abkühlung als Regen erscheint, indem die Capacität der Luft für das Wasser mit Abnahme der Wärme geringer wird, und daher leicht Regen entstehen kann, wenn die Luft, welche über dem Meer der heißen Gegenden gestanden, über kälteren Boden strömt. Der Aequator, da wo er flüssig ist, bietet die Quelle, aus welcher der Luftkreis seinen Wassergehalt schöpft. Nun werden die Südwinde,

*) Vergl. Dove in Zeitschrift für allgemeine Erdkunde. Bd. I. S. 386 ff.

**) Ueber das Klima des preußischen Staates in Zeitschr. für allgem. Erdkunde. Bd. I. S. 385.

welche von der heißen Zone wehen, bei ihrem Fortschreiten immer westlicher; daher ist für Deutschland die Südwestseite die Wetterseite, und die Regenmenge wird von den südwestlichen Gegenden nach den nordöstlichen abnehmen, insofern die Luft, je weiter sie strömt, desto mehr den Wasserdampf verliert, den sie in wärmeren Gegenden aufnahm. Ein Gebirge, das sich (wie bei den norddeutschen Ketten) in der Hauptrichtung von SO. nach NW. erstreckt, verdichtet deshalb an seiner Südwestseite viel mehr Regen als an der Nordostseite, selbst so unbedeutende, wie der Teutoburger Wald und der Ziegenrück am Südabhange des Thüringer Waldes. Die in Prag 14 Zoll betragende Regenmenge steigert sich am Südabhange des Riesengebirges allmälig bis 33, sinkt aber in Neisse schon auf 16 Zoll herab. Das Rheinthal aber, welches als eine Querspalte das rheinische Gebirge durchsetzt, zeigt in seinem ganzen Verlaufe eine sehr gleiche Menge von etwa 26 Zoll, in den Querthälern ist sie geringer, so in Kreuznach nur 19. Der isolirt aufsteigende Harz verdichtet hingegen den Wasserdampf zu der größten Menge; denn in Clausthal und auf dem Brocken erreicht diese 50 Zoll, aber dadurch ist auch der Vorrath erschöpft und daher sinkt an den mecklenburgischen Küsten, der Nähe der Ostsee ungeachtet, auf Poel bei Wismar diese Menge auf 16, in Wustrow sogar bis auf 13 Zoll herab, während sie in Berlin 23 Zoll beträgt. In Ostpreußen ist sie erheblicher als in Westpreußen; sie beträgt in Königsberg 28, in Conitz nur 14.

Ueberhaupt wird wegen des oben hervorgehobenen Umstandes, daß die von Süden herbeiströmenden Aequatorialströme allmälig immer westlicher werden, in der gemäßigten Zone der nördlichen Erdhälfte die Südwestseite die Wetterseite sein. Hiernach hat man die größte Menge des Niederschlages an den Westküsten der Continente zu erwarten, und die mächtigsten Regen da, wo unmittelbar ein hohes Gebirge an der Küste sich erhebt, wie in Europa die skandinavischen Alpen. In Sitcha in Nordamerika fallen 86 englische Zoll, in Bergen 88; auch ist an beiden Orten die Regenmenge auf die verschiedenen Jahreszeiten analog vertheilt. Da die Temperaturdifferenz des Wassers und des Bodens in Amerika im Winter nach Süden hin immer mehr abnimmt, so wird auch die Regenmenge, die in Oregon noch 60 Zoll beträgt, weiter südlich immer geringer. In Neu-Mexico erhöht sich im Sommer die Temperatur des Landes sehr bedeutend über die der Küste; daher gewinnt die vom Meere kommende Luft an Dampfcapacität, und es giebt hier Stationen, die im ganzen Jahre die geringe Regenmenge von 3 Zoll zeigen.

Wenn der Verlauf der Gebirge in ganz Europa von Süd nach Nord wäre, wie in Skandinavien, so würde überall auf der Ostseite derselben eine sehr geringe Menge Wasser herabfallen, an der Westseite eine sehr große; der Gegensatz zwischen Schweden und Norwegen würde, wie Dove bemerkt, ein allgemeiner sein. Nun entsprechen aber in Europa die Hauptketten mehr der Richtung der Parallelkreise als der der Meridiane, weshalb denn auch bei uns auf der Südseite der Gebirge eine größere Regenmenge fällt. In Amerika ist dagegen die Westküste des Continents von dem östlich gelegenen Gebiete durch die mehr oder minder von Süd nach Nord laufenden Ketten der Felsgebirge getrennt, so daß die Luft Amerika's ungeachtet der mächtigen Wasserspiegel im Innern relativ trockner ist *).

---

*) Vergl. in dies. Bez. Desor, Du climat des États-unis et de ses effets sur les habitudes et les moeurs de ses habitants.

Daher das schnelle Trocknen der Wäsche und auch des Brodes, das Fehlen der Eisblumen an den Fenstern im Winter ungeachtet der strengen Kälte, und dergleichen mehr.

Die Configuration des Landes macht es erklärlich, daß das in Europa von den Westküsten nach dem Innern allmälige Abnehmen des Regens in Amerika ein plötzliches wird. Doch modificiren sich diese Verhältnisse wieder dadurch, daß vom mexicanischen Meerbusen bis zum Eismeer in der Mitte des Continents sich Ebenen von geringer Erhebung erstrecken. Wenn man daher von dem Plateau von Neu-Mexico in die Niederungen des Mississippi hinabsteigt, nimmt die Regenmenge wieder zu und erreicht an der Mündung desselben und in Florida ein Maximum von 60 Zoll. Dieses nimmt, so wie man nördlich fortgeht, allmälig ab, und sinkt im Gebiet der canadischen Seen auf 30 Zoll herab. Diese Abnahme ist in den Ebenen langsamer, als da, wo südlich die Kette der Alleghanis beginnt, wo sie rasch erfolgt, und da an der atlantischen Küste die Regenmenge geringer ist, als in einiger Entfernung von derselben, so wird man den mexicanischen Meerbusen als die Quelle für den Regen des Hauptgebietes der Union zu betrachten haben *).

Von den früher besprochenen subtropischen Regenverhältnissen ist nach Dove **) in dem ganzen Gebiete der Vereinigten Staaten diesseits der Felsgebirge keine Spur zu finden. Die Vertheilung in Californien erinnert eher daran; während aber in Südeuropa und Nordafrika das Herbstmaximum das Frühlingsmaximum übersteigt, ist hier das Entgegengesetzte der Fall. Von einer subtropischen Zone als solcher kann überhaupt nicht die Rede sein, da sowohl die indischen Monsoons als die Erscheinungen im westlichen Amerika, den schmalen westlichen Küstensaum abgerechnet, sie entschieden unterbrechen.

Mehrere Tabellen über die Regenverhältnisse Nordamerikas hat Dove in seinem Aufsatze über die Vertheilung des Regens in der gemäßigten Zone gegeben ***).

Auf Grund seiner Untersuchungen ist Dove ****) geneigt, den allgemeinen Satz auszusprechen: „daß, wo ein wärmeres Meer eine kältere Küste bespült, vorzugsweise mächtige Niederschläge eintreten, wo hingegen eine bedeutende Temperaturdifferenz im Meere selbst hervortritt, der Niederschlag die Form einer Trübung annimmt, welche eine geringe Regenmenge liefert. Die Trübung ist eine Wolke in niederen Schichten; damit der Regen mächtig werde, muß die Wolke, welche ihn verbreitet, hoch sein, damit die ganze Luftschicht zwischen ihr und der Grundfläche zur Vergrößerung der Tropfen mitwirke."

Aus dem Vorstehenden erhellet, daß vorzugsweise die Südwest- und Westwinde die Regenwinde sind. Kämtz giebt in seiner Meteorologie folgende auf Deutschland bezügliche Tabelle, in welcher die Zahlen angeben, wie viel von der Regenmenge = 100 auf jeden einzelnen der 8 Hauptwinde kommt. Man sieht, daß die Südwest-, die West- und dann die Nordwestwinde die meisten Nieder-

*) Dove in Zeitschrift für allgemeine Erdkunde. Bd. I. S. 9: über das Klima von Nord-Amerika.

**) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 51.

***) Pogg. Ann. Bd XCIV. S. 59.

****) Zeitschrift für allgemeine Erdkunde. Bd. 1. S. 27.

schläge bringen. Nur für Mannheim liegt das Uebergewicht auf Seiten der Südwinde, was man auf die Richtung des Rheinthales zurückzuführen versucht hat.

Orte	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Augsburg . . .	3,15	2,54	0,54	1,27	3,09	25,39	46,12	17,87
Schwäb. Alp . .	13,71	4,85	3,30	5,44	12,45	21,40	19,84	18,96
Stuttgart . . .	7,08	7,00	7,21	2,28	6,69	36,44	21,83	11,44
Mannheim . . .	12,50	7,13	13,97	11,03	27,13	8,31	17,42	2,42
Berlin	6,06	7,80	5,48	5,56	8,72	27,99	21,92	16,44
Hamburg . . .	3,56	2,93	4,10	4,87	4,46	27,14	36,63	16,37
Mittel	7,66	5,37	5,76	5,07	10,42	24,44	27,29	12,25

Muncke *) bemerkt im Hinblick auf diese Tafel rücksichtlich Mannheims, daß die für NW. und N. gegebenen Zahlen nach seinen mehrjährigen Beobachtungen umgekehrt werden müßten, da er ohne eigentliche Messung und Aufzeichnung bei ersterem Winde sehr häufig, bei letzterem aber selten dort Regen wahrgenommen habe.

Eine Zusammenstellung gleichzeitiger Beobachtungen zeigt nach Kämtz nicht selten, daß der SW-Wind an vielen Orten bereits herrscht, wenn es beim NO-Wind regnet. Der SW-Wind hat schon in den oberen Regionen und in den westlichen Gegenden das Uebergewicht erhalten, während der NO-Wind in der Tiefe noch fortdauert, um jenem in kurzer Zeit zu weichen. Unter solchen Verhältnissen ist es scheinbar der NO-Wind, in Wahrheit aber der SW-Wind, welcher den Regen bringt. Aber selbst wenn es beim NO-Winde regnet, zeigt sich nach Kämtz meistens ein bedeutender Unterschied in dem Verhalten des Regens bei NO- und SW-Winden. Wenn NO-Winde plötzlich das Uebergewicht erhalten, so sinkt die Temperatur schnell, Dämpfe werden in kurzer Zeit condensirt, der Regen fällt dicht und in großen Tropfen herab, bald aber hat das meiste Wasser den Boden erreicht, und es folgt heiterer Himmel. Regnet es bei SW-Winden, so ist der Regen meistens feiner und hält längere Zeit an.

Den Einfluß des Windes auf die Regenmenge hat Kämtz **) nachzuweisen gesucht durch die Angabe der relativen Regenmengen für einen jeden der 8 Hauptwinde und durch die Zahlen, welche angeben, wie oft einer derselben wehen muß, wenn es einmal dabei regnen soll. Wenn nämlich unter einer gewissen Zahl von Beobachtungen ein gewisser Wind $s$mal vorkommt, und die demselben zugehörige Regenmenge $= n$ ist, so giebt das Verhältniß $\frac{s}{n}$ an, wie oft ein gewisser Wind wehen muß, wenn es einmal bei ihm regnen soll. In den nachstehenden von Kämtz zusammengestellten Tabellen enthält die Columne A die auf 100 reducirten Verhältnißzahlen der einem jeden der acht Winde zugehörigen Regenmengen, B die Zahl, wie oft ein gewisser Wind wehen muß, um einmal Regen zu bringen.

*) Gehler's phys. Wörterb. Bd. VII. S. 1269.
**) Meteorol. Bd. I. S. 433.

	La Rochelle		Kopenhagen		Mannheim		Würzburg		Karlsruhe	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	6,0	11,1	4	14,3	6,8	6,1	6,4	8,3	6,85	5,25
NO.	8,3	22,4	7	14,3	5,8	8,4	3,8	11,2	9,58	11,78
O.	4,7	8,7	11	12,5	7,4	6,3	6,2	8,9	1,68	13,67
SO.	3,6	5,9	8	8,3	13,3	3,3	8,9	5,3	1,03	4,75
S.	12,9	5,2	14	6,4	14,9	2,7	16,2	4,4	30,88	3,80
SW.	47,4	4,0	29	6,3	23,3	2,7	24,9	4,1	56,75	2,92
W.	10,4	6,3	21	7,7	16,2	2,9	23,0	5,4	17,03	3,52
NW.	6,7	8,6	6	12,5	12,3	4,6	10,6	6,8	4,00	4,42

	München		Prag		Erfurt		Moskau	
	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	4,7	6,3	7,3	4,3	7,2	8,5	8,5	4,6
NO.	2,7	7,2	3,5	9,2	7,7	7,3	11,7	3,5
O.	5,7	13,8	2,5	13,5	16,4	9,1	3,9	3,2
SO.	1,3	11,6	4,4	12,7	3,7	10,2	17,8	3,2
S.	7,5	5,9	9,1	7,8	7,0	7,8	9,4	3,1
SW.	28,9	3,2	24,8	5,1	17,7	6,8	23,3	2,8
W.	46,3	2,9	23,6	4,3	28,5	5,8	6,4	3,2
NW.	2,9	4,9	24,8	3,8	11,8	3,7	19,1	4,4

	Stockholm		Abo		Ulea		Petersburg	
	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	13,4	2,8	6,0	5,1	14,2	5,2	8,5	3,3
NO.	16,7	1,9	14,6	3,5	12,1	4,5	8,5	3,2
O.	12,6	2,2	13,1	2,7	15,3	3,9	14,9	3,0
SO.	13,2	2,3	20,1	2,1	13,0	4,3	11,7	2,7
S.	14,7	2,8	13,5	3,1	22,2	4,5	13,1	2,6
SW.	13,0	3,5	17,6	3,8	10,8	5,7	16,0	2,2
W.	9,3	6,0	7,8	5,7	7,0	6,6	17,2	2,8
NW.	7,1	4,1	7,3	5,8	5,4	7,9	10,1	3,3

Nach den angestellten Betrachtungen ist die ungleich starke Regenmenge an verschiedenen Orten der Erdoberfläche selbstverständlich, so wie auch die wechselnde Regenmenge an einem und demselben Orte im Allgemeinen nichts Auffallendes darbietet.

Eine ungemein große Regenmenge stellte sich nach Sykes *) für Maha-

*) Bibl. univ. de Genève. T. XXVIII. p. 407.

buleshwar am westlichen Abhange der Ghats-Gebirge, unter 17° 58′ 53″ n. Br., 73° 29′ 50″ östl. L. von Greenwich, 4220 Par. Fuß über dem Meere, heraus. Dieselbe beträgt hier im Ganzen (jährlich) 283,32 franz. Zoll. Bombay, nicht weit von Mahabuleshwar und dicht am Meer gelegen, empfängt nach Poggendorff *) 75,6 franz. Zoll, Anjarakandy dagegen, was schon am Fuße des Gebirges liegt, 116 franz. Zoll, Punah, jenseits des Gebirges auf der Hochebene Indiens, hat dagegen nur 21,98 franz. Zoll.

Zu Arracan fielen nach Pemberton **) im Jahre 1825 zwischen den Monaten Juni bis October 184,85 franz. Zoll, und zu Charra-Punji in den Kossiyah-Gebirgen, ungefähr unter 25° 10′ n. Br., 92° östl. L. von Greenwich, in den Monaten Juli, Juni, August und September 211 franz. Zoll Regen. Zu Cayenne fielen im Februar 1820 innerhalb 10 Stunden 10,25 Zoll und vom 1. bis zum 24. Februar 12 Fuß 7 Zoll Regen. Admiral Roussin erlebte zu Cayenne einen Regen, der von 8 Uhr Abends bis 6 Uhr Morgens ununterbrochen anhielt und 280 Millimeter Wasser, also 28 Millim. pro Stunde lieferte. Am 18. Juli 1854 fielen zu Havana innerhalb drittehalb Stunden 71,5 Millim., also in der Stunde gleichfalls 28 Millim. Regen. Bei dieser Gelegenheit theilen wir bezüglich der Regenverhältnisse Havanas folgende Beobachtungsresultate mit, die Casaseca ***) vom 1. Jan. 1854 bis zum 1. Jan. 1855 zu Havana sammelte.

	Regentage	Regenmenge Millimeter
Januar	9	32
Februar	4	74
März	4	88
April	13	96,5
Mai	11	57
Juni	13	107,6
Juli	9	162
August	9	136
September	10	117,4
October	9	69,5
November	5	40
December	10	60,2
Summa	106	1040,2

Indessen erhalten auch Orte, die unter höheren Breiten liegen, mitunter ungewöhnliche Regenmengen. So fielen z. B. in Marseille den 21. September 1838 in 25 Minuten während eines Gewitters 1,5 Zoll, in Genf den 20. Mai 1827 während 3 Stunden 6 Zoll Regen, und in Brüssel, wo seit 1833 binnen 24 Stunden nie mehr als 1 Zoll 10,28 Lin. Regen fielen, brachte am 4. Juni 1839 ein Gewitter eine Regenmenge von 3 Zoll 2 Lin. binnen 3 Stunden ****).

Es ist bereits im Eingange dieses Artikels bemerkt, daß das atmosphärische

*) Ann. Ergänzungsbd. S. 369.
**) Journ. of the Geogr. Soc. T. VIII. p. 391.
***) Compt. rend. T. XL. p. 362. Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 642.
****) L'Instit. 7me. Ann. N. 286. p. 206

Wasser während der Erscheinung des Regens in der Form von mehr oder weniger kugelförmigen Tropfen herabfällt. Folgen die letzteren sehr rasch oder mit sehr kleinen Zwischenräumen auf einander, so gewähren sie gewissermaßen die Erscheinung von Wasserfäden. Bezüglich der Quantität und Ausdehnung einzelner Regen unterscheidet man im gemeinen Leben gewöhnlich Staubregen (sehr feiner Regen), Strichregen (aus einer einzelnen nur einen kleinen Raum treffenden Wolke), Landregen (weit verbreiteter und anhaltender Regen), Platzregen (starker heftiger Regen), und Wolkenbruch (der stärkste Regen, wo das Wasser massenhaft herabstürzt).

In Rücksicht der elektrischen Entladungen, welche die Erscheinung des Regens mitunter begleiten, verweisen wir auf den Artikel Gewitter, und bezüglich mancher anderer Einflüsse, wie z. B. des Mondes, auf den Regen wolle man den Art. Witterung nachsehen.

Was die Beschaffenheit des Regenwassers betrifft, so ist dasselbe, da es vorher von der Erde in Dampfgestalt aufgestiegen ist, in vielen Fällen dem destillirten Wasser an Reinheit ähnlich. Indessen finden sich doch mancherlei Substanzen ihm beigemischt, die es bei seinem Herabfallen aus der Atmosphäre in sich aufnimmt; denn da nicht blos Wasserdampf in die Atmosphäre aufsteigt, sondern auch andere Dünste, Rauch, gasförmige Producte der Verwesung und Fäulniß rc., so kann sich natürlicher Weise das herabfallende Wasser mit diesen Stoffen verunreinigen, und man findet daher eine solche Verunreinigung namentlich auch bei demjenigen Wasser, welches nach lange Zeit anhaltender Dürre zuerst als Regen herabfällt, wogegen das später fallende Wasser meist sehr rein ist. — Der größte Theil des in der Atmosphäre befindlichen Wasserdampfes steigt, wie wir wissen, vom Meere auf, und so können denn auch, besonders unter Mitwirkung von Stürmen, Spuren von Kochsalz der Atmosphäre und dem Regen beigemengt werden. Doch kommt dies gewöhnlich nur in der Nähe der Küsten vor. So fand Dalton *) in dem Regenwasser vom 5. December 1822 zu Manchester 1 Theil Salz in 10000 Theilen Wasser, und in einem anderen Falle 1 Th. Salzwasser in 200 Th. Regenwasser. Salisbury **) beobachtete sogar, daß der Regen am 14. Jan. 1808 zu Mill-Hill an der Ostküste Englands kleine Salzkrystalle an den getroffenen Fensterscheiben zurückließ, und fand auch in der Umgegend solche an Blättern und kleinen Zweigen.

Lampadius ***) fand in dem in größerer Entfernung vom Meere, namentlich im mittleren Deutschland, aufgefangenen Regenwasser meistens nur nach anhaltender Dürre etwas Salpetersäure und salzsauren Kalk; spätere Untersuchungen belehrten ihn jedoch, daß sich fast ohne Ausnahme etwas Salzsäure, meist an Kalk gebunden, im Regen- und Schneewasser finde. Auch Zimmermann ****) fand stets salzsaure Salze, und nicht selten animalische und vegetabilische Bestandtheile. Liebig *****) fand im Regenwasser, das nach Gewittern aufgefangen

*) Manchester Mem. New. Ser T. IV. p. 330 u. 370.

**) Gehler's Journ. Bd. VII. S. 589.

***) Atmosphärologie. S. 23. Gilbert's Ann. Bd. LVIII. S. 440; Bd. LX. S. 106.

****) Kastner's Archiv. Th. I. S. 257.

*****) Geiger's Magazin für Pharmacie. 1828. Jan. S. 37.

war, etwas Salpetersäure an Kalkerde oder Ammoniak gebunden, die im gewöhnlichen Regenwasser nicht vorkam. Das Vorkommen der Salpetersäure in Gewitterregen hat nichts Befremdendes, da bekanntlich Salpetersäure entsteht, wenn der elektrische Funke feuchte atmosphärische Luft durchschneidet. Doch wollen schon früher Marggraf *) und T. Bergmann **) auch im gewöhnlichen Regenwasser außer Kalksalzen einen geringen Antheil Salpetersäure gefunden haben. Dagegen erhält man nach Liebig immer schwefelsaures Ammoniak oder Salmiak, wenn man frisch gefallenes Regenwasser in einer Porzellanschale unter Zusatz von etwas Schwefelsäure oder Salzsäure bis zur Trockniß abdampft, was wohl zu erwarten ist, wenn man sich erinnert, daß kohlensaures Ammoniak stets in der Atmosphäre vorhanden ist. Mineralische Substanzen, namentlich salzsaure Salze, wurden auch von R. Brandes ***) im Regenwasser gefunden; und endlich hat noch Witting ****) Untersuchungen angestellt über die Stoffe, die man im Regenwasser gelöst oder ihm beigemengt findet.

Man spricht auch von Blutregen, Schwefelregen, Aschenregen, Thierregen ꝛc., je nach den verschiedenen Substanzen, die zuweilen mit oder ohne Begleitung von Wasser wirklich oder nach einer irrthümlichen Meinung aus der Atmosphäre herabkommen.

Es ist in Bezug auf diese Erscheinungen zunächst nicht zu verkennen, daß die Kraft und Art des Windes in vielen Fällen hinreichend und geeignet ist, um größere Massen verschiedener Substanzen auf der Oberfläche der Erde gewissermaßen von der letzteren hinwegzukehren und in bedeutende Höhen der Atmosphäre emporzuführen. In Persien in der Provinz Romoé unweit vom Berge Ararath fiel im April 1827 ein Regen von Fruchtkörnern, der an einigen Orten, wie erzählt wird, die Erde bis zu einer Höhe von 6 Zoll bedeckte. Desfontains *****) untersuchte eine nach Frankreich geschickte Probe, und erklärte sie für Früchte von Lichen lecidea. Hieran schließen sich noch andere Nachrichten vom Herabfallen von Früchten. So sollen 1686 in Curland knollenartige Gewächse herabgefallen sein, und ähnliche Früchte fielen am 19. und 20. Juni 1823 auf der Herrschaft Starkenbach in Böhmen während eines Gewitters; man hielt sie für Knollen der Ranunculus ficaria. Im Jahre 1804 fiel in Andalusien eine Menge Korn vom Himmel, nachher erfuhr man, daß dasselbe der Sturmwind von einer Tenne in Tanger weggeführt hatte. Nach Göppert †), der sich besonders auf ein 1830 in Schlesien vorgefallenes Ereigniß beruft, kommen jedoch die Knollen der Ranunculus ficaria in den meisten Fällen gar nicht mit dem Regen herab, sondern werden nur durch ihn entblößt und vom Wasser fortgeschwemmt, woraus denn der Glaube entsteht, daß sie mit dem Regen vom Himmel gefallen wären. Dem obigen ähnliche Kornregen sind am 28. Juli 1736 zu Bielitz in Schlesien, 1550 in Thüringen, 1570 in Oberbayern, 1571 in Breslau, 1548 bei Klagen-

*) Chemische Schriften. Th. I.
**) De analysi aquarum. §. 4.
***) Schweigger's Journ. N. R. Bd. XVIII. S. 153.
****) Archiv des Apothekervereins. Th. XI. Hft. 1; Th. XIV. Hft. 1.
*****) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXIX. p. 423. Schweigger-Seidel Journ. Bd. LX. S. 393.
†) Schlesische Provinzialblätter 1831. Jan. und Febr. Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 550.

furth, 1571 und 1691 zu Gottleberg und Villach vorgekommen. Am 24. März 1840 fiel zu Rakjet in Ostindien bei einem dort gewöhnlichen Sturme ein Regen von Fruchtkörnern herab, wovon Sykes durch den Capitain Aston Proben erhielt. Die Körner waren unbekannt, man glaubte aber, daß sie einer Art spartium oder vicia zugehörten.

Auch die sogenannten Schwefelregen sind in der Regel nur ein Herabkommen durch den Wind fortgeführten Blüthenstaubes, und eine große Anzahl gefärbter Regen wird einen derartigen Ursprung haben. Ein Beispiel vom Regnen erwiesenen Blüthenstaubes giebt die Erscheinung, welche am 24. Mai 1804 bei Kopenhagen beobachtet wurde. Ein gelber Staub fiel während eines Gewitters, und es erwies sich hernach, daß es derselbe Blüthenstaub sei, welchen ein Sturmwind von der 8 Meilen entfernten *) Insel Amaht entführt hatte. Ferner fiel am 19. April 1761 in der Gegend von Bordeaux Regen, der mit vielem gelben Pulver gefärbt war, welches die Pariser Academie, der man Proben vorgelegt, für Blüthenstaub der Tannen erklärte. Schübler **) erklärte gleichfalls das am 8. und 13. Mai 1823 bei Crailsheim mit einem Gewitterregen herabfallende gelbe Pulver, welches aus Kügelchen bestand, die auf dem Wasser schwammen, für Blüthenstaub von Fichten. Nach Göppert sind die sogenannten Schwefelregen im März und April vom Erlen- und Haselnuß-Strauch, die im Mai und Juni von Fichtenarten, Wachholder und Birke, im Juli, August und September von Bärlappsamen, Rohr-Liesch oder Teichkolben herzuleiten.

Auf dieselbe Weise nun, wie vegetabilische Substanzen, können auch mineralische Stoffe durch den Wind aufgehoben und weiter fortgeführt werden. Döbereiner ***) beobachtete, daß im Winter 1812 auf 1813 mehrmals mit dem Schnee und auf demselben Staub herabfiel, welcher aus Kalk, Kiesel und einer Spur von Eisen bestand. Und J. de Pourtalez ****) sah am 14. März 1813 zu Catanzara in Catalonien aus einer den Tag verdunkelnden und allen Gegenständen einen röthlichen Schein verleihenden Wolke eine große Menge rother Erde herabfallen, die der Richtung des Windes nach aus Afrika herbeigeführt sein mußte. Eine solche röthliche Substanz fiel auch am 14. März 1813 zu Genua, dem ehemaligen Locci, mit Regen, zu Abruzzo aber und in beiden Calabrien als bloßer Staub herab. Nach Sementini *****) bestand dieser aus 33,00 Kiesel, 15,5 Thon, 11,5 Kalk, 1 Chrom, 14,5 Eisen und 9 Kohlensäure nebst einem Verluste von 15,5, der einem kohlenstoffhaltigen Staube zugeschrieben wurde.

Spedallieri fand dagegen nach einer genauern Analyse 8 Gr. Kiesel, 5 Eisen, 3 Thon, 1 Kalk, $^1/_2$ Kohlensäure, $^1/_4$ Schwefel, 2 empyreumatisches Oel, 2 Kohlenstoff, 2 Wasser und 2,25 Verlust. Es läßt sich annehmen, daß die heftigen Frühlingswinde diesen Staub aus Afrika herbeigeführt haben. Ein Herabfallen erdiger Substanzen hat man auch noch an anderen Orten mehrfach

*) Voigt, Magaz. Th. VIII. S. 54 und Bd. IX. S. 193. Gilbert's Ann. Bd. XVIII. S. 337.

**) Schweigg. Journ. N. F. Bd. XI. S. 36.

***) Schweigg. Journ. Bd. IX. S. 222.

****) Schweigg. Journ. Bd. IX. S. 217.

*****) Gilbert's Ann. Bd. LXIV. S. 327. Schweigger's Journ. Bd. XIV S. 130.

beobachtet *). — Eine schwarze Masse, welche am 23. Nov. 1819 während eines sehr starken Gewitters zu Montreal den Regen wie Tinte färbte, erwies sich als Ruß, welchen der Wind von einem entfernten brennenden Walde herbeigeführt hatte **). Doch mögen auch in manchen Fällen die herabgefallenen und aufgefundenen Mineralsubstanzen meteorischen Ursprungs gewesen sein (s. d. Art. Feuerkugeln).

Eine gleiche Bewandniß hat es zum Theil mit den sogenannten Thierregen. So ist es bekannt, daß die Heuschrecken vom Winde getragen gewissermaßen in Wolken ankommen, und in Massen die Fluren bedecken. Auch Raupen und Insekten werden durch den Sturmwind mitunter in großer Menge fortgeführt). Bei Neusohl und Eperies in Ungarn soll am 20. Nov. 1672 mit vielem Schnee eine unzählige Menge gelber und schwarzer Raupen herabgefallen sein, welche noch 3 Tage lebten ***). Aehnliche Insektenregen kamen am 10. Jan. 1818, am 22. December 1819 und am 30. Jan. 1820 zu Hartau und Spachendorf in Schlesien vor, eben so am 17. October 1827 zu Pokroff im Gouvernement Twer ****).

Auch das Herabfallen von Fischen, namentlich von Häringen zugleich mit salzhaltigem Wasser ist an der Seeküste mehrfach beobachtet worden †). Nach Major Harriot ††) fielen zu Madras im Jahre 1775 eine Menge von Fischen während eines Sturmes herab, zum Theil auf die Hüte der Soldaten.

Den Nachrichten von Mäuse- und Froschregen liegt wohl eine Täuschung zu Grunde, da nach Linné eine Gattung Mäuse (mus montanus) in Norwegen sich schaarenweise aufmacht und in Massen über die Felder herfällt, so daß es allerdings den Anschein haben kann, als wären sie herabgeregnet; und auch die Frösche werden mitunter, namentlich nach längerer Trockenheit, durch den ersten Regen in großer Anzahl hervorgelockt.

Regenbogen. Diese prächtige Lichterscheinung besteht bekanntlich aus einer gewissen Anzahl verschiedenfarbiger concentrischer Bogen (Ringe), die man dann wahrnimmt, wenn man mit dem Rücken gegen die Sonne gewendet eine sich in Regen auflösende Wolke, welche von der Sonne beleuchtet ist, betrachtet. Den hoch in die Lüfte sich erhebenden farbigen Bogen kann man als Theil der Grundfläche eines Kegels ansehen, dessen Spitze sich im Auge des Beobachters befindet, und dessen rückwärts verlängerte Are durch den Mittelpunkt der Sonne geht. Tritt die Erscheinung vollständig hervor, so sieht man noch einen zweiten äußeren Bogen, welcher den ersteren einschließt und mit ihm concentrisch ist. Jenen, den inneren, nennt man den Hauptregenbogen, diesen, den äußeren, den Nebenregenbogen. Beide Bogen zeigen die Farben des prismatischen Sonnenspectrums; der Hauptregenbogen zeigt die rothe Farbe am äußeren Rande, die

*) Hesperus. Th. XXX. S. 67. Gilb. Ann. Bd. XLVI. S. 99. Ann. de Chim. et de Phys. T. XLV. p. 419.

**) Edinb. Phil. Journ. Nr. IV. p. 381.

***) Dan. Guilielm. Molleri meditatio de insectis quibusdam hungaricis prodigiosis, anno proxime praeterito ex aëre una cum nive in agros delapsis. Francfort. 1673.

****) Journ. de St. Petersbourg. No. 141. Nov. 1827.

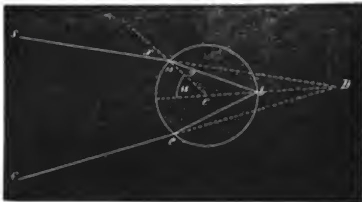
†) Edinb. Phil. Journ. N. Ser. No. I. p. 186.

††) L'Institut. 6me Ann. No. 233. p. 217.

violette am inneren Rande, dazwischen finden sich die übrigen Farben in der Ordnung, wie beim prismatischen Farbenbilde, nur weniger scharf begrenzt als bei diesem. In dem äußeren Nebenregenbogen erscheinen die prismatischen Farben, im Vergleich zu jenem Bogen, lichtschwächer und in umgekehrter Anordnung; violett liegt nach Außen, das Roth nach Innen.

Die erste bis zu einem gewissen Grade vollständige Theorie des Regenbogens gab Newton. Als Vorläufer Newton's bezüglich der richtigen Theorie dieser Erscheinung betrachtet man aber Theoderich (aus Freiberg) *), Marc. Ant. de Dominis **), Marcus Marci ***), und besonders auch Cartesius. Durch die Genannten ward die Erklärung des Regenbogens, insofern derselbe auf Reflexion und Brechung der Sonnenstrahlen in Regentropfen beruht, begründet; allein Newton gab zuerst eine bestimmte und richtige Theorie in Hinsicht auf die Farben des Regenbogens.

Betrachten wir nun den Weg eines Sonnenstrahles, der in der Richtung s a (s. beistehende Figur) auf einen kugelförmigen Regentropfen bei a trifft. Derselbe wird nach a b gebrochen, und bei b theils eine neue Brechung, theils eine Reflexion nach e hin erleiden, wo er in Folge einer abermaligen Brechung den Tropfen verlassen und in der Richtung e f fortgehen wird. Dasselbe wird einem zweiten mit s a parallelen Strahle begegnen, man erkennt aber leicht, daß solche parallel auf den Tropfen fallende Strahlen nach ihrem Austritte aus dem letzteren dergestalt divergiren können, daß sie auf das Auge eines Beobachters keinen merklichen Eindruck hervorzubringen vermögen. Dagegen kann der Punkt a auch dergestalt gelegen sein, daß alle daselbst parallel auffallenden Strahlen so gebrochen werden, daß sie den Tropfen nahezu in parallelen Richtungen verlassen und daher auch einen wirksamen Eindruck auf das Auge des betreffenden Beobachters machen. Solche Strahlen gewähren nun auch in der That die Erscheinung des Regenbogens.



Denkt man sich den Radius c a gezogen und verlängert, so ist x der Einfallswinkel und y der Brechungswinkel; also $\sin x = n \sin y$, wenn n das Brechungsverhältniß für den Uebergang des Lichts aus Luft in Wasser bezeichnet. Werden aber die Linien s a und f e bis zu ihrem Durchschnittspunkte verlängert, so entsteht der Ablenkungswinkel D, welchen der eintretende Strahl mit dem austretenden Strahle macht. Es ist dann $\angle u = y + y$, und auch $u = \frac{1}{2} D + x$, also $2y = \frac{1}{2} D + x$, und $D = 4y - 2x$.

Die Größe des Ablenkungswinkels D ändert sich, wie man sieht, für einen

*) Comment. sopra la storia e le Teorie dell' Ottica de caval. G. Venturi. Ann. de Chim. et de Phys. T. VI. p. 143.

**) De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et in iride. 1611.

***) Thaumantias, liber de arcu coelesti etc. auct. Joann. Marco Marci. Pragae 1648.

bestimmten Farbestrahl mit dem Werthe des Einfallswinkels. Giebt man nun dem letzteren allmälig alle Werthe von 0^0 bis 90^0 und bestimmt die zugehörigen Werthe von y und D, so findet man, daß D für eine kleine Aenderung von x sich am wenigsten ändert, wenn dieses ungefähr $= 59^0\ 23'$. D ist dann, wenn man rothe Strahlen voraussetzt, $= 42^0\ 2'$. Für jeden anderen Einfallswinkel würde mit einer kleinen Veränderung desselben eine größere Zu- oder Abnahme von D verbunden sein als für den eben angeführten. Kurz D ist für diesen Werth ein Maximum, und die Divergenz der aus dem Tropfen tretenden Strahlen ist in diesem Falle am geringsten. Es läßt sich dies mit Hülfe der Differentialrechnung leicht allgemeiner darstellen.

Da $D = 4y - 2x$, so ist $dD = 4\,dy - 2\,dx$, und im Fall des Maximum muß $dD = 0$ sein, also $dy = \frac{1}{2}\,dx$.

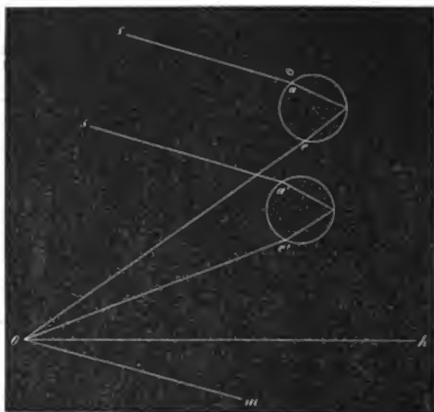
Da nun $\sin x = n \sin y$, so ist auch $\cos x\,dx = n \cos y\,dy$, oder $\cos x\,dx = n \cos y\ \frac{1}{2}\,dx$, oder $2 \cos x = n \cos y$.

Erhebt man diese Gleichung ins Quadrat und addirt zu ihr das Quadrat von $\sin x = n \sin y$, so erhält man: $\sin^2 x + 4 \cos^2 x = n^2 (\sin^2 y + \cos^2 y)$, nämlich $\sin^2 x + 4 \cos^2 x = n^2$, oder statt dessen auch $\sin^2 x + 4\,(1 - \sin^2 x) = n^2$, und hieraus $4 - 3 \sin^2 x = n^2$, folglich $\sin^2 x = \frac{4 - n^2}{3}$.

Für diesen Werth von x wird also D ein Maximum sein, und Strahlen, welche unter diesem Winkel x auf den Tropfen fallen, sind wirksame Strahlen, insofern sie parallel aus dem Regentropfen hervortretend ein dem Regenbogen zugehöriges kleines Sonnenbild erzeugen. Der Maximalwerth von D, welcher dem zuvor bestimmten Werthe von x entspricht, giebt den Winkel an, um welchen ein Punkt des Regenbogens von dem der Sonne entgegengesetzten Punkte, nämlich von dem Punkte, wohin der Schatten des Beobachters fällt, absteht. Die vorstehende Betrachtung gilt nun für alle Tropfen, die in gleichem Winkelabstande von der Linie liegen, welche durch den leuchtenden Punkt und das Auge des Beobachters gezogen ist, und das letztere sieht gewissermaßen eine Menge von Sonnenbildern in der Form eines glänzenden Kreises, der weiß erscheinen würde, wenn nicht eine ungleiche Brechung der verschiedenen Farbestrahlen im Wassertropfen stattfände.

Wenn das Licht aus der Luft in Wasser übergeht, so hat man für die rothen Strahlen $n = \frac{4}{3} = \frac{108}{81}$, und nach der obigen Formel $x = 59^0\ 23'$; y ist dann $= 40^0\ 12'$, und $D = 42^0\ 2'$. Hiermit ist der scheinbare Halbmesser des rothen Bogens gegeben. Unter dem eben angeführten Einfallswinkel werden also bei e rothe Strahlen parallel in der Richtung e o (s. umstehende Figur) in das Auge bei o bringen. Ist nun s a ein weißes Lichtbündel, so wird das bei e austretende Lichtbüschel unten roth und oben violett gefärbt sein. Die stärker brechbaren violetten Strahlen werden aber in diesem Falle über den Kopf des Beobachters hinweggehen. Dagegen können tiefer gelegene Regentropfen die violetten Strahlen in der Richtung e′ o ins Auge senden, während die rothen Strahlen unter dem Auge weggehen. Für violettes Licht ist $n = \frac{109}{81}$, $x = 58^0\ 40'$,

$y = 39^\circ\,24'$, und $D = 40^\circ\,16'$, der scheinbare Halbmesser des violetten Bogens. Die zwischenliegenden Tropfen geben dann die übrigen Farben mittlerer Brechbarkeit. Zieht man die Linie om parallel mit den einfallenden Strahlen sa,



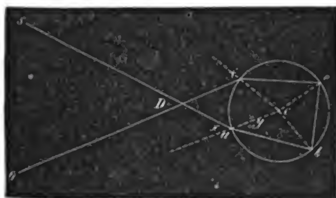
sa' und denkt sich die ganze Figur um diese Linie, welche durch das Auge und den Mittelpunkt der Sonne geht, gedreht, so erhält man eine Kegelfläche, in welcher alle Regentropfen liegen, die wirksame prismatische Farbestrahlen ins Auge senden. Und so erkennt man auch, daß sich alle Farben des Regenbogens auf mehr oder weniger weit geöffneten konischen Oberflächen befinden, indem sie alle zur gemeinschaftlichen Axe die Linie haben, welche durch das Auge des Beobachters und den Mittelpunkt der Sonne geht; daß die Kegelfläche des Violett die innerste ist, indem sie mit der Axe einen Winkel von $40^\circ\,16'$ macht, dagegen die des Roth die äußerste, indem sie mit der Axe einen Winkel von $42^\circ\,2'$ macht, und daß endlich die ganze scheinbare Breite des Regenbogens $< eoe' = 42^\circ\,2' - 40^\circ\,16' = 1^\circ\,46'$ ist, falls man die Sonne als einen leuchtenden Punkt betrachtet. Da aber dieselbe eine scheinbare Breite von $30'$ hat, so ist vielmehr die scheinbare Breite des ganzen Regenbogens $= 1^\circ\,46' + 30' = 2^\circ\,18'$. Jeder farbige Bogen müßte eigentlich eine dem scheinbaren Durchmesser der Sonne gleiche Breite haben; die einzelnen Farbenkreise greifen jedoch in einander ein, so daß sich namentlich die mittleren Farben vermischen und nur die äußersten ganz rein bleiben.

Der lichte Kreis des Regenbogens wird dem Auge durch den Horizont oh unterbrochen. Die Höhe des sichtbaren Bogens ist durch den Winkel $eoh = eom - moh$ bestimmt. Nun ist $< eom = D = 42^\circ\,2'$, während $< moh$ die Höhe der Sonne über dem Horizont mißt. Hieraus folgt nun, daß man auf einer Ebene gar keinen Regenbogen sieht, wenn die Sonnenhöhe 42° beträgt. Ist aber sa, folglich auch om parallel mit dem Horizont, so erscheint der Regen-

bogen als Halbkreis. Einen größeren Theil sieht man auf hohen Bergen und man würde einen vollen Kreis sehen, wenn das Auge 42° unter den Horizont hinabreichte. Auch die Nähe der Regenwolke ist in dieser Hinsicht von Bedeutung, wie man denn auch bei Wasserfällen, die eine zahllose Menge von Tropfen verbreiten, nicht selten einen vollständigen farbigen Kreis gesehen hat.

Newton fand durch Beobachtung, daß die Ordnung der Farben und die Breite der farbigen Streifen genau so sind, wie es der aufgestellten Theorie gemäß ist. Aus der letzteren folgt von selbst, daß jeder Beobachter seinen eigenen Regenbogen sieht und daß sich das Auge stets zwischen der Sonne und dem Mittelpunkte des Bogens befindet.

Der innere oder Hauptregenbogen, den wir oben erklärt haben, entsteht also durch Sonnenstrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine einmalige innere Reflexion erfahren haben. Der äußere oder Nebenregenbogen wird dagegen durch Sonnenstrahlen bewirkt, welche eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion in den Tropfen erleiden. Fällt ein Strahl s a (s. beistehende Figur) auf einen Tropfen bei a, so wird derselbe nach der Brechung die hintere Seite des Tropfens in der Richtung a b treffen und hier bei b den Tropfen theils verlassen, theils aber auch nach b e reflectirt werden. Bei e findet dann eine abermalige Reflexion nach f statt, wo der Strahl nach einer neuen Brechung in der Richtung f o austreten wird. Der Halbmesser c a bildet verlängert das Einfallsloth; x ist dann der Einfallswinkel des Strahles s a und y der Brechungswinkel. Der



Ablenkungswinkel D, den der einfallende und austretende Strahl mit einander machen, ist je nach dem Einfallswinkel veränderlich. Es ist aber, wenn man auf das Fünfeck a b e f D reflectirt, dessen Winkelsumme = 540° ist, $D = 540^0 - (a + b + e + f)$, oder, wenn man die letzteren Winkel durch x und y bestimmt, $D = 2x - 6y + 180^0$.

Wendet man nun hier dasselbe Verfahren an wie oben bei dem Hauptregenbogen, um die sogenannten wirksamen Strahlen zu finden, so hat man zunächst

$$dD = 2dx - 6dy = 0, \quad dy = \tfrac{1}{3}\, dx.$$

Nun ist ferner $\sin x = n \sin y$, und durch Differentiiren $\cos x \, dx = n \cos y \, dy$, also auch $dy = \frac{\cos x \, dx}{n \cos y} = \frac{3 \cos x \, dy}{n \cos y}$, folglich $n \cos y = 3 \cos x$.

Erhebt man nun diese Gleichung ins Quadrat und fügt das Quadrat von $n \sin y = \sin x$ hinzu, so ergiebt sich

$$n^2 (\sin^2 y + \cos^2 y) = \sin^2 x + 9 \cos^2 x, \text{ oder}$$

$$n^2 = \sin^2 x + 9 \cos^2 x = \sin^2 x + 9 (1 - \sin^2 x), \text{ daher } \sin^2 x = \frac{9 - n^2}{8}.$$

Setzt man nun in dieser Formel für n nach einander den bekannten Brechungs-

exponenten für die rothen und violetten Strahlen ein und bestimmt dann für die gefundenen Werthe von x die zugehörigen Werthe von D; so erhält man für Roth D = 50° 59′ und für Violett D = 54° 9′. Die Breite des Nebenregenbogens beträgt hiernach etwa 3° 10′, und der Raum zwischen diesem und dem Hauptregenbogen 50° 59′ — 42° 2′ = 8° 57′.

Die Farben des Nebenregenbogens müssen natürlich in Folge der Lichtschwächung, welche die wiederholte innere Reflexion mit sich führt, weniger intensiv sein als die des Hauptregenbogens.

Nach denselben Gesetzen könnte aber auch noch ein dritter und vierter äußerer Regenbogen durch öftere innere Reflexion der Sonnenstrahlen in Regentropfen entstehen; doch könnten diese Bogen nur sehr lichtschwach sein. Ein dritter Regenbogen ist indessen mehrmals beobachtet worden *).

Der Raum zwischen dem Haupt- und Nebenregenbogen sendet nur solches Licht in das Auge des Beobachters, welches von der äußeren Fläche der Tropfen reflectirt ist, während die übrigen an die Bogen grenzenden Räume auch von der Rückseite der Tropfen reflectirtes und zerstreutes Licht ins Auge senden. Daher die größere Dunkelheit jenes Raumes.

Die obige Theorie läßt sich auch experimental prüfen, wenn man durch eine Glaskugel oder durch ein mit Wasser gefülltes cylindrisches Glas einen Sonnenstrahl gehen läßt, den man mittelst eines Heliostaten darauf leiten kann. Die aus dem Wasser hervortretenden Strahlen lassen sich auch bequem auf einem weißen Papier in einem dunklen Zimmer auffangen. Man erkennt dann, wie sich die erhaltenen farbigen Spectra mit dem Einfallswinkel ändern.

Eine genauere Beobachtung der Erscheinung des Regenbogens hat gelehrt, daß außer den gewöhnlichen farbigen Bogen desselben meist noch eine Reihe von anderen, secundären Bogen vorkommt, die concentrisch mit jenen, namentlich an der inneren Seite des Hauptregenbogens klar hervortreten. Diese secundären Bogen, die man auch überzählige (Supernumerar-) Bogen nennt, reichen jedoch nicht bis zum Horizont herab, sondern zeigen sich mit einigermaßen lebhaftem Glanze nur an der oberen Wölbung des gewöhnlichen (primären) Regenbogens. Man hat sie in verschiedener Anzahl beobachtet und namentlich häufig eine Reihe von grünen und rothen Farbensäumen wahrgenommen. Langwith **) beobachtete einst außer den Farben des primären Regenbogens vier überzählige Farbenreihen, in denen gleichfalls ein Wechsel von Grün und Purpurroth sehr bemerkbar war.

Die überzähligen Bogen lassen sich nicht ohne Weiteres aus der oben entwickelten Theorie, die der Haupterscheinung des Regenbogens gilt, ableiten. Venturi ***) machte den ersten beachtenswerthen Erklärungsversuch, indem er diese Bogen auf eine Brechung und Zurückwerfung der Lichtstrahlen in sphäroidisch gestalteten Regentropfen zurückzuführen suchte, so daß z. B. Tropfen, die mehr breit als hoch sind, einen niedrigeren Farbenbogen geben müssen. Doch hat man das Ungenügende dieser Erklärung erkannt, und sich in neuerer Zeit einer anderen Ansicht zugewandt, welche auf die Principien der Undulationstheorie des

*) Abhandl. der schwed. Acad. 1759. S. 234.

**) Philos. Transact. Vol. XXXII. p. 241.

***) Commentari sopra la Storia e le Teorie dell' Ottica. Bologna 1814. Gilb. Ann. der Physik. Bd. LII. S. 385.

Lichtes gestützt ist. Inzwischen stellte Grunert *) in möglichst engem Anschlusse an die gewöhnliche Newton'sche Theorie des Regenbogens, die er einer ausführlicheren Betrachtung unterwarf, eine Hypothese auf, welche darauf hinweist, daß in der Atmosphäre Regentropfen vorhanden sein müssen, die das gleichfarbige Licht auf verschiedene Art brechen, oder welche eine verschiedene Brechungskraft besitzen.

Da nun die Verschiedenheit der Brechungskraft der brechenden Mittel lediglich durch ihre verschiedene Dichtigkeit bedingt sei, so könne die Verschiedenheit der einer und derselben Farbe entsprechenden Brechungsexponenten und die damit zusammenhängende Wiederholung der Bogen nur dadurch herbeigeführt werden, daß sich in der Atmosphäre Regentropfen von verschiedener Dichtigkeit befänden. Daß sich aber die secundären Bogen hauptsächlich an den oberen Theilen der primären Bogen zeigen, komme daher, daß nur in den höheren Regionen der Atmosphäre außer den in bedeutender Anzahl vorhandenen und bis zur Erde hinabreichenden Tropfen von gleicher Dichtigkeit noch Tropfen von davon verschiedener Dichtigkeit vorhanden seien, indem durch das Herabfallen der Tropfen sich die Dichtigkeit derselben allmälig ausgleiche.

Die oben gegebene, von Newton begründete Theorie des Regenbogens ist im Gewande der gewöhnlichen sogenannten geometrischen Optik dargestellt; sie kann aber leicht auf die Principien der Undulationstheorie des Lichtes zurückgeführt werden, nach welchen ein wirksamer Lichtstrahl aus einer gewissen Gruppe elementarer Aetherwellen besteht. Die oben berechneten wirksamen Strahlen des Haupt- und Nebenregenbogens sind nun eben solche Gruppen sich gegenseitig verstärkender elementarer Wellen. Außer diesen und in der Nähe derselben kann es aber auch noch andere elementare Wellensysteme geben, die sich nach den Gesetzen der Interferenz (s. d. Art. Interferenz des Lichts) an bestimmten Stellen verstärken und schwächen, und dadurch zu den sogenannten secundären oder überzähligen Regenbogen Veranlassung geben.

Th. Young **) betrachtete die überzähligen Bogen zuerst als ein Interferenzphänomen im Sinne der Undulationstheorie des Lichtes. Die beiden Lichtbündel, welche in den bekannten erklärenden Vorstellungen des Regenbogens angegeben und welche von der hinteren Fläche des Tropfens regelmäßig reflectirt werden, durchschneiden sich in verschiedenen Richtungen, bis sie unter dem Winkel der größten Ablenkung mit einander zusammenfallen, wo sie den gewöhnlichen Regenbogen von 41° hervorbringen. Andere Theile dieser Bündel verlassen aber den Tropfen nach Richtungen, die einander parallel sind, und diese verursachen eine fortgesetzte Verbreitung eines schwächeren Lichtes auf 25° innerhalb der hellen Grenze, welche den Regenbogen bildet, wiewohl nach den allgemeinen Gesetzen der Vermischung, welche, wie in anderen ähnlichen Fällen, das Licht in concentrische Ringe vertheilt. Die Größe dieser Ringe hängt von der Größe der Tropfen ab (die zwischen gewissen Grenzen liegen muß), nach Maßgabe der Differenz der Zeit, welche die beiden Lichtbündel in ihrem Fortgange verwenden, die solchergestalt nach parallelen Richtungen in das Auge des Beobachters

*) Beiträge zur meteorologischen Optik. Leipzig 1848. S. 144 ff.

**) Gilbert's Ann. Bd. XXXIX. S. 272.

gelangen, nachdem sie in den Tropfen verschiedentlich gebrochen und reflectirt worden sind.

Arago *) stimmte der Young'schen Erklärung bei, so daß auch ihm die überzähligen Bogen eine Wirkung von Lichtinterferenzen zu sein scheinen, die nur durch Tropfen von gewisser Kleinheit erzeugt werden können. Auch müssen die Tropfen, wenigstens der Mehrzahl nach, wie er glaubt, die Bedingung einer fast mathematischen Gleichheit der Dimensionen erfüllen. Steht die Sonne tief, so steht dagegen der obere Theil des Regenbogens sehr hoch, und in diesem Scheitel zeigen sich die überzähligen Farben in ihrem vollen Glanze. Von da an nehmen sie gegen den Horizont hin rasch ab. Es müßten also die Regentropfen während ihres senkrechten Falles die Eigenschaft verlieren, welche sie vorher besaßen; sie müßten den Bedingungen zu wirksamen Lichtinterferenzen nicht mehr genügen, d. h. sich vergrößert haben, indem sich Feuchtigkeit auf ihrer Oberfläche niederschlage, in dem Maße, als sie aus den kalten Regionen ihrer Entstehung die wärmeren Luftschichten näher an der Erde durchfallen.

Weiter und genauer hat Airy **) die Erklärung dieser überzähligen Bogen im Sinne der Undulationstheorie des Lichtes zum Gegenstand seiner Untersuchung gemacht. Der Regenbogen ist eine Brennlinie (s. d. Art.), welche in Folge des Durchschneidens der in den Regentropfen gebrochenen und reflectirten Strahlen entsteht. Airy bestimmte nun auf dem Wege der Rechnung und gestützt auf die Principien der Undulationstheorie die Intensität des Lichts in der Nähe einer solchen Brennlinie, oder die Orte des Maximums und Minimums der Helligkeit, je nach den Schwingungszuständen oder Phasenunterschieden, in welchen die verschiedenen Elementarwellen an diesen Orten zusammentreffen und sich entweder zu wirksamen Wellen vereinigen oder gegenseitig stören und schwächen. Derselbe gelangte hierbei bezüglich der überzähligen Bogen zu Resultaten, welche zunächst durch Beobachtungen von Miller ***) bestätigt wurden. Dieser brachte nach der von Babinet angegebenen Weise ****) einen künstlichen Regenbogen durch einen cylindrischen von homogenem Lichte beleuchteten Wasserstrahl hervor, und beobachtete dann die Halbmesser des hellsten Theils von jedem Hauptbogen und von seinem ersten und zweiten dunklen Ringe, welche hierauf mit den theoretischen Halbmessern des hellsten Theils von jedem Hauptbogen und seinem dunklen Ringe verglichen wurden. Die beobachteten Lagen der Hauptregenbogen und ihrer überzähligen stimmten mit den von Airy nach der Undulationstheorie berechneten überein. Hiernach stellte Galle *****) Messungen an einem natürlichen Regenbogen an, indem er die Distanzen der verschiedenen farbigen Bogen von der Sonne ermittelte. Für den Halbmesser des Regenbogens erhielt er denselben Werth wie Miller, nämlich 41° 32′,8, in naher Uebereinstimmung mit dem nach Airy's Theorie berechneten.

Die Erscheinung eines weißen Regenbogens, die man mehrfach wahr-

---

*) Annuaire. 1836. Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 455.

**) Transact. of the Cambridge Philos. Society. Vol. VI. p. 379. Pogg. Ann. Ergänzungsband I. 1842. S. 232.

***) Phil. Mag. Ser. III. Vol. XVIII. p. 520. Pogg. Ann. Bd. LIII. S. 214.

****) Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 140.

*****) Pogg Ann. Bd. LXIII. S. 342.

genommen hat, ist in neuerer Zeit von Bravais *) theoretisch untersucht worden. Derselbe ist ein weißlicher Kreisbogen, der sich zuweilen der Sonne gegenüber in dickem Nebel zeigt, und dessen Radius von 33° bis 42° schwankt. Erreichen die Dimensionen des Bogens diese letztere Grenze, so kann man ihn für einen gewöhnlichen, nur schwachen Regenbogen halten und die Abwesenheit der Farben eben der Schwäche des Lichtes zuschreiben. Wenn dagegen die Größe des weißen Bogens mehrere Grade unterhalb der Grenze bleibt, welche die gewöhnliche Theorie des Regenbogens angiebt, so erscheint jene Erklärung unzulänglich. Bravais sucht nun auf dem Wege der Rechnung darzuthun, daß in diesem Falle hohle Wasserbläschen die Entstehung des weißen Bogens veranlassen. Jedes solches Bläschen ist eine Hohlkugel von Wasser, und es kommt auf das Verhältniß des äußeren und inneren Halbmessers desselben im Vergleich zum Brechungsverhältniß der Lichtstrahlen an, wie die Erscheinung sich gestalten wird. Ist der äußere Radius R hinlänglich groß geworden gegen den innern r, so wird der flüssige Tropfen geeignet, den wirksamen Strahlen, welche den gewöhnlichen Regenbogen erzeugen, Durchgang zu verstatten; allein ehe er diese Grenze erreicht, muß er durch einen intermediären Zustand gehen, in welchem er den weißen Regenbogen veranlaßt. Ist das Verhältniß beider Halbmesser $\frac{R}{r}$ gleich 1,37 oder 1,38, so liegt das Maximum der Helligkeit des Bogens 33° oder 34° vom Centrum, und man erhält ein Phänomen von der Art, wie es Bouguer auf dem Gipfel des Pichincha sah, nämlich einen weißen Bogen mit einem Winkeldurchmesser von 67°. Dagegen strebt die Erscheinung sich allmälig abzuändern und in die Form des gewöhnlichen Regenbogens überzugehen, so wie $\frac{R}{r}$ zunimmt. Sobald dieses Verhältniß gleich 1,44 wird, beginnt die Irisirung des äußeren Randes, und es zeigt sich am letzteren ein rother Saum. Wenn der Werth von $\frac{R}{r}$ sich 1,50 nähert, ist diese Irisirung noch hervorstechender, und wenn endlich dasselbe Verhältniß die Grenze 1,55 übersteigt, so wird der weiße Bogen durch den gewöhnlichen Regenbogen ersetzt.

Der weiße Bogen ist im Ganzen ein seltenes Phänomen, welches sich meist nur auf niedrigen Nebeln zeigt, kurz nach Sonnenaufgang hauptsächlich in den Monaten September und October. Auch hat man bemerkt, daß derselbe sich in der Regel auf einer von dem Beobachter wenig entfernten Wolke bildet, was nach Bravais daher zu rühren scheint, daß die Umstände, welche seine Bildung bedingen, ihrer Natur nach sehr zufällig und vorübergehend sind, daß sie sich nicht zugleich in der Gesammtheit einer sehr ausgedehnten Wolke verwirklichen, sondern nur in beschränkten Stücken derselben. Steht also der Beobachter in großer Ferne so wird ein weißer Bogen, der schwach und von geringer Amplitude ist, unbemerkt bleiben; wogegen der Beobachter, wenn er näher ist, einen großen Theil des Bogens sehen und dessen regelmäßige Krümmung erkennen wird.

Bouguer sah, bei der Wahrnehmung jenes weißen Bogens, zugleich den

*) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XXI. p. 348. Pogg. Ann. Ergänzungsband II. (nach Bd. LXXII.) S. 562.

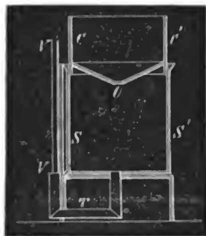
Schatten seines Kopfes umgeben von irisirenden Ringen, an Farben analog den Mondhöfen. Diese Ringe begleiten häufig den weißen Regenbogen, aber nicht so umgekehrt, der weiße Bogen ist viel seltner als jene. Bezüglich dieser Ringe vergleiche man den Art. Hof, Bd. III. S. 861. 867.

Man hat mitunter auch doppelte, sich durchschneidende oder auch wohl umgekehrte Regenbogen wahrgenommen *). Wenn nämlich ein Regenbogen auf die angegebene Weise in einer Regenwolke zu Stande kommt, so kann es unter Umständen geschehen, daß durch Reflex der Sonnenstrahlen von einer ruhig stehenden Wasserfläche ein zweiter, einem anderen Mittelpunkte angehöriger Regenbogen entsteht, der den ersten in einer gewissen Weise durchschneidet, oder es erzeugt auch wohl das Spiegelbild der Sonne, das gewissermaßen die Stelle einer zweiten Sonne unter dem Horizont vertritt, allein einen Regenbogen, der nur bezüglich des gewöhnlichen Regenbogens eine andere Lage wie dieser hat.

Beiläufig sei hier noch bemerkt, daß man mitunter auch nur Bruchstücke des gewöhnlichen Regenbogens sieht, die hie und da unter dem Namen der Regengallen bekannt sind.

Endlich ist leicht einzusehen, daß unter denselben Bedingungen wie die Sonne auch die Strahlen des Mondes einen Regenbogen hervorbringen können. Und in der That hat man auch mitunter Mondregenbogen wahrgenommen **), die jedoch in der Regel nur lichtschwach, auch nicht immer farbig, sondern zuweilen nur als weißliche oder gelbliche Bogen erscheinen.

Regenmesser (Udometer, Ombrometer, Hyetometer) heißt ein Apparat, welcher den Zweck hat, die an einem Orte herabfallende Regenmenge zu messen. Beistehende Figur zeigt einen gewöhnlichen Regenmesser. Derselbe besteht in einem Blechcylinder von 8 bis 10 Zoll Durchmesser, der aus dem Auffanggefäß (Recipienten) CC′ und dem Behälter SS′ zusammengesetzt ist. Der Recipient hat einen trichterförmig oder conisch zugehenden Boden, der bei O mit einer Oeffnung versehen und an dem Behälter SS′ nach Art eines Bajonetts befestigt ist. In den Boden des Behälters mündet eine Röhre T, welche, wie Figur zeigt, gebogen ist, und eine gläserne Röhre VV′ aufnimmt, die senkrecht neben dem Cylinder in die Höhe geht. Diese Glasröhre ist in gleiche Theile getheilt und dient, um an ihr die Höhe des Wassers im Behälter zu beobachten. Mißt man die Fläche des Recipienten CC′ und den Rauminhalt des Behälters SS′, so kann man erfahren, wie groß die Quantität der im Behälter enthaltenen Flüssigkeit sei, im Vergleich mit den verschiedenen Höhen derselben in VV′. Da indeß die Höhe, bis zu welcher das Wasser in der Röhre VV′ aufsteigt, die Höhe der Wasserschicht



*) Phil. Transact. 1698. p. 193. 1793. p. 1. Mém. de Paris 1743. Hist. 43. Gilb. Ann. Bd. LXII. S. 124. Pogg. Ann. Bd. IV. S. 111. Baumgartner's Zeitschrift rc. Bd. III. S. 201.

**) Gilb. Ann. Bd. XI. S. 480. Zach, Corr. astron. Bd. X. S. 542. Montucla, hist. de math. T. II. p. 545. v. Lindenau, Astron. Zeitschr. Bd. II. S. 349. Phil. Mag. 1833. Apr. p. 317.

im Behälter SS' mißt, so giebt dieselbe auch die Regenmenge an, welche in einer gegebenen Zeit gefallen ist, wenn CC' und SS' gleichen Querschnitt haben.

Ein diesem ähnlicher Regenmesser war (oder ist noch) im Observatorium zu Paris aufgestellt. Das Wasser fällt aus dem trichterförmigen Recipienten durch eine Röhre in einen mit einem Hahne versehenen Behälter, aus welchem es in ein cylinderförmiges Gefäß fließt, das sorgfältig geaicht ist und auf seiner inneren Wand Theilstriche trägt, welche in Centimetern die Höhe der Flüssigkeit anzeigen. Der Recipient hat einen Durchmesser von 76 Centimeter, und das untere Gefäß einen Durchmesser von 24 Centimeter, so daß die Oberfläche des letzteren dem 10. Theil der Oberfläche des ersteren gleich ist. Man bedient sich auch kleinerer graduirter Gefäße, um kleine Bruchtheile zu messen. Dieser Apparat stand mitten im Hofe der Sternwarte, 3 Meter über dem Boden, ein anderer ähnlicher 28 Meter höher auf der Terrasse. Folgendes war das Resultat der Beobachtungen, die von 1817 bis 1829 mit Hülfe dieser beiden Instrumente angestellt wurden.

Im Jahre	im Hofe	auf der Terrasse
1817	57 Centimeter	51 Centimeter
1818	52 „	43 „
1819	69 „	62 „
1820	43 „	38 „
1821	65 „	58 „
1822	48 „	42 „
1823	52 „	46 „
1824	65 „	57 „
1825	52 „	47 „
1826	47 „	41 „
1827	58 „	50 „
1828	63 „	59 „
1829	59 „	56 „
Mittel	56 Centimeter	50 Centimeter

Hiernach ist für diese 13 Jahre die mittlere Quantität des Regens, welche jährlich zu Paris in dem Hofe des Observatoriums fällt, 56 Centimeter, während die mittlere Quantität auf der Terrasse 50 Cent. ist; also unten etwa um $^1/_9$ größer als oben. Ihre Erklärung findet diese Erscheinung in dem in Art. Regen ausgesprochenen Umstande, daß die Regentropfen während ihres Herabfallens durch die unteren Schichten der Atmosphäre, vermöge der von ihnen auf ihrer kälteren Oberfläche bewirkten Condensation des Wasserdampfes, an Größe zunehmen. Diese Erklärungsweise ist zwar von einigen Physikern bezweifelt worden; doch lassen sich die erhobenen Zweifel leicht heben, wie dies auch schon längst, namentlich von Arago *) geschehen ist.

Wir bemerken hier noch, daß bei der Ermittelung der Regenmenge für einen Ort mit Recht auch diejenigen Quantitäten Wasser mit gerechnet werden müssen,

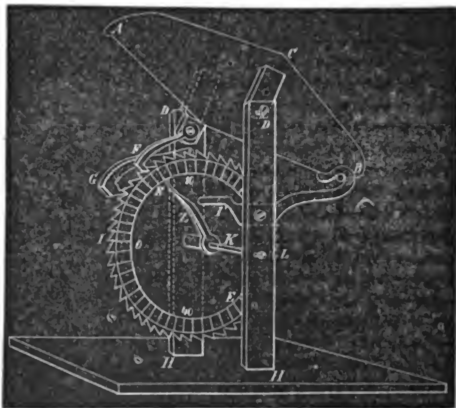
*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XVIII. p. 410; T. XXXIII. p. 417.

welche gefroren herabkommen, da ihre Bildung im Allgemeinen dieselbe wie die des Regens ist. Zum Auffangen des Schnees muß der Recipient des Regenmessers eine angemessene Höhe und Gestalt haben. Nach dem Aufhören des Schneiens kann man den Apparat in ein warmes Zimmer, um den Schnee schmelzen zu lassen, bringen und die Beobachtung in der angegebenen Weise vornehmen.

Die trichterförmige Gestalt des Auffangegefäßes mit einer unten konisch zulaufenden, etwas engen Oeffnung ist erforderlich, damit das Spritzen, welches durch das Aufschlagen der Tropfen auf den Boden des Gefäßes veranlaßt wird, keinen Verlust herbeiführe, und damit auch das im cylindrischen Gefäße sich ansammelnde Wasser längere Zeit stehen kann, ohne in Folge der Verdunstung merklich zu verlieren, was hier eben durch die enge Oeffnung vermieden werden soll.

Größerer Bequemlichkeit wegen und zum Theil auch, um dem Resultate eine größere Schärfe zu verleihen, hat man sogenannte selbstregistrirende Regenmesser in Vorschlag gebracht und auch ausgeführt. Wir erwähnen hier zunächst eine solche Vorrichtung von Taylor *), die in neuerer Zeit von Donovan **) modificirt worden ist.

Ein anderer selbstregistrirender Regenmesser ist von v. Horner ***) angegeben und auch hie und da in Gebrauch gekommen. Von demselben giebt Kämtz in seiner Meteorologie ****) nach einer ihm von Horner gemachten Mittheilung eine genauere Beschreibung. Wir führen hier die Hauptpunkte an. Aus der Röhre eines Trichters von beliebiger Größe fließt das Regenwasser (s. beistehende Figur) in eine Art Schiffchen A B von Weißblech, das bei C eine feste Scheide-



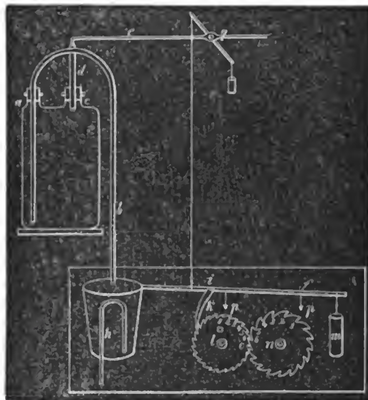
*) The Phil. Magaz. or Annals of Phil. T. II. p. 406.
**) Dublin phil. Journ. No. II. p. 285.
***) Schweigg. Journ. Bd. LIX. S. 36.
****) Th. II. S. 413.

wand hat, und bei D und D' zwischen zwei Spitzen so beweglich ist, daß es eine bedeutende Oberlast hat. Vermöge der letzteren steht es nie horizontal, sondern fällt nach der einen oder anderen Seite über, so daß immer eine der Abtheilungen senkrecht unter die Oeffnung des Trichters zu stehen kommt. Sobald die gerade oben stehende Abtheilung A des Schiffchens sich so weit mit Wasser gefüllt hat, daß sie das Gewicht der anderen leeren Hälfte, und den Widerstand, welchen das unterhalb stehende Räderwerk entgegensetzt, zu überwinden vermag, schlägt das Schiffchen um, und erhebt dadurch die andere Abtheilung B, die sich nun gleichfalls füllt, um bald umzuschlagen. Es bedarf also nur einer Einrichtung, um die abwechselnden Schwankungen (Oscillationen) des Schiffchens zu zählen, woraus sich dann auch die in einer gewissen Zeit gefallene Regenmenge ermitteln läßt, wenn man die zum Umschlagen des Schiffchens erforderliche Wassermenge kennt. Jene Einrichtung besteht nun in einem Rade E E von 50 Zähnen, die ziemlich niedrig und auf der einen Seite senkrecht abgesetzt sind, so daß der am Schiffchen befestigte Haken sich leicht über dieselben hinschieben und mit Sicherheit das Rad rückwärts ziehen kann. Dieses findet statt bei jedem Ueberschlagen von A. Indem A sich ausleert, wird der Haken F um einen Zahn vorgeschoben, und damit das Rad selbst hierdurch nicht aus seiner Stellung verrückt werde, ist an dem Ständer D'H der Hebel G angebracht, welcher mit einiger Schwere auf dem Rade aufliegt, so daß dasselbe wohl durch den Hebel F zurückgezogen, niemals aber nach der anderen Seite bewegt werden kann. Die beiden krummgebogenen Drähte J und J' (der letztere ist in der Zeichnung abgebrochen) dienen, das Schiffchen in der einen oder anderen Lage zu unterstützen, so daß der Grad seiner Neigung constant sei, eine Bedingung, die auch leicht auf anderem Wege zu erreichen ist. Vermittelst eines an der Axe des Rades E E angebrachten Zeigers lassen sich nun auf einer außen am Träger des Schiffchens befestigten Scheibe bis auf 50 Schwankungen oder 100 Ausleerungen des Schiffchens zählen, eine Größe, die auch für den stärksten Regen, der binnen 12 Stunden fallen möchte, für mehr als hinreichend bezeichnet wird. Einigen Versuchen zufolge füllt sich jede Kammer des Schiffchens vor dem Umschlagen etwa bis auf 1 Cubikzoll an. Gäbe man dem kreisförmigen Trichter etwa 10 Zoll Durchmesser, so ist der Flächenraum seiner Oeffnung $78^1/_2$ Zoll; mithin würden die 100 Cubikzoll Wasser für jenen Flächenraum zu einer Höhe von $^5/_4$ Zoll anwachsen, was bereits ein bedeutender Regenguß wäre. Doch läßt sich diese Messung noch um ein Bedeutendes vermehren. Es befindet sich nämlich hinter dem Rade E E ein anderes Rad von 51 Zähnen, welches auf der Axe K befestigt ist, während E E nur vermittelst einer Hülse auf derselben sich dreht, und durch den ebenfalls auf der Axe festen Zeiger Z gegen das Abgleiten gesichert ist. Beide Räder werden zugleich mit einander durch den Haken F fortgezogen, und so wird, wenn das Rad E E um 50 Zähne versetzt worden ist, das hintere Rad L L noch um 51 zurück sein, und der Zeiger Z, welcher mit ihm in fester Verbindung steht, wird um einen Grad der Eintheilung zur Rechten des Nullpunktes stehen, bei einer folgenden Umdrehung des Rades E E um zwei Grade u. s. f., so daß man mit dieser einfachen Vorrichtung 50 ganze Umläufe des Rades, mithin 50 Mal 100, oder 5000 Ausleerungen des Schiffchens notirt finden kann, was für den Trichter von 10 Zoll Durchmesser einer Wasserhöhe von 64 Zoll gleich käme.

Bei diesem selberregistrirenden Regenmesser ist der Verlust durch Verdunstung

beseitigt. Dagegen macht Muncke *), der zwar die Feinheit der Messung durch diesen Regenmesser anerkennt, auf einen, wie er meint, nicht leicht zu vermeidenden Fehler aufmerksam. Bei starkem Regen häufe sich nämlich das Wasser in dem Auffangegefäße und es fließe dann in gleichen Zeiten eine größere Menge Wasser durch das Ausgußröhrchen. Da nun die Zeit einer Oscillation des Schiffchens sich stets gleich bleibe, so werde in diesem Falle während des Umschlagens, bis das scheidende Blech auf die andere Seite des Einflußröhrchens gelange, mehr Wasser in die jedesmalige Abtheilung fließen, und deshalb würden weniger Oscillationen zu gleichen Regenhöhen gehören. Dieser Fehler ist nach ihm so bedeutend, daß bei einem solchen Regenmesser die Zahl der einer gegebenen Regenhöhe zugehörigen Oscillationen nur annähernd bestimmt werden kann. Darum giebt er auch dem gewöhnlichen Regenmesser mit einem weiten Auffangegefäß den Vorzug. Aus diesem Gefäße muß das Wasser, um die Verdunstung möglichst zu verringern, durch ein enges Rohr in ein unteres kleineres, die Höhe um 4 bis 10 Mal vermehrendes, verschlossenes Gefäß abfließen, das im Boden zweckmäßig mit einer Dute zu versehen ist, in welche man eine doppelt rechtwinklig gekrümmte Glasröhre stecken kann, deren äußerer vertikal aufstehender Schenkel wie gewöhnlich eine Scala zum Messen der Wasserhöhe im Gefäße trägt, und durch deren Ausziehen man dieses Gefäß zugleich ausleeren kann.

Einen anderen selberregistrirenden Regenmesser unter dem Namen „Ombrometrograph“ hat Mohr **) construirt. Derselbe beruht auf dem Princip des Tantalus- oder Verirbechers (s. d. Art.). Ein solcher Becher leert sich von selbst ganz aus, wenn er ganz gefüllt worden ist, aber nicht eher. Man hat also nur zu zählen, wie oft derselbe von bestimmtem Inhalte ausgeleert worden ist, was durch die nebenstehende Maschinerie geleistet wird.



In dem einen Halse a einer Woulf'schen Flasche wird luftdicht durch einen Kork ein bis auf den Boden reichendes Bleirohr b eingepaßt, welches außerhalb in einem sehr flachen Bogen umgebogen, bis unter den Boden der Flasche reicht. In dem anderen Hals c wird ebenfalls durch einen Kork eine gläserne Einflußröhre d angebracht, welche nothwendig etwas höher als der oberste Punkt der gebogenen Bleiröhre sein muß. In diese Röhre mündet direct die vom Auffangegefäß abgeleitete Bleiröhre e. — Der weitere Apparat ist in einem

*) Gehler's physik. Wörterb. N. B. Bd. XI. S. 492.

**) Pogg. Ann. Bd. LV. S. 310.

Kästchen von Zink enthalten, welches vorn durch eine Glasscheibe geschlossen ist. Am Ende einer Messingstange ist ein Becher h, der etwa ein Pfund Wasser halten kann, mit seinem oberen Rande befestigt. Dieser Becher ist ebenfalls durch die in ihm angebrachte Röhre ein Tantalusbecher, der das Wasser aus der oberen Flasche, sobald diese gefüllt ist, aufnimmt, und in Folge des hierdurch bewirkten Druckes herunter sinkt, wodurch dann auch die Messingstange, die um den festen Punkt f drehbar ist, bewegt wird. An dem Punkte i ist aber der Sperrkeil k eingelenkt, welcher abwärts auf die Zähne eines Rades l wirkt, welches mit leichter Kraft bewegt werden kann. Ein zweites Rad n bedeckt schwach den Rand des ersten Rades l. Ein auf letzterem befestigter Stift ist genöthigt, im Vorbeigehen einen Zahn des Rades n fortzustoßen. Zwei in dem Kasten befestigte Zeiger p p zeigen immer den Zahn an, dessen Zahl abgelesen werden muß. Auf dem Rade l sind die Ziffern in der Richtung der Ziffern einer Uhr bezeichnet, auf dem Rade n laufen sie verkehrt.

Sobald der Becher h voll geworden ist, fängt sein Heber ebenfalls an abzufließen; allein der Becher kann nicht leer werden, so lange das Wasser der Flasche noch im Fließen ist. Wenn dieses ausgeflossen ist, leert er sich ebenfalls von selbst. Das Gegengewicht m zieht ihn wieder in die Höhe, und der Sperrkeil k legt sich auf den folgenden Zahn. Die Anzahl der Zähne ist an beiden Rädern beliebig; ein Zahn am Rade n bedeutet einen ganzen Umlauf des Rades l, weil jener Stift so angebracht ist, daß er das Rad n eben dann verläßt, wenn der letzte Zahn des Rades l gerade seinen Zeiger p erreicht hat. — Damit während der Operation des Ausfließens und Registrirens kein Wasser vom Auffanggefäß in die Meßflasche fließen könne, ist die Zuflußröhre e durch einen Hahn q unterbrochen, welcher in dem Augenblick durch seinen Hebel geschlossen wird, wo der Sperrkeil k durch das ausfließende Wasser bewegt wird. Der Zug wird durch einen Bindfaden oder Draht fortgepflanzt. Wenn der Becher h wieder in die Höhe steigt, wird auch der Hahn durch ein Gegengewicht wieder geöffnet, das unterdeß angesammelte Wasser läuft ein, und alles ist bis zum nächsten Ausfluß bereit. Die obere Flasche ist nach Unzen graduirt, so daß man auch schwache Regen einzeln ablesen kann.

M o h r hatte den Apparat in einem Keller angebracht, wo durch die gleichmäßige Temperatur weder ein Verdunsten noch ein Gefrieren zu befürchten war. Ein Hauptvortheil des hier angewandten Princips soll nach M o h r darin liegen, daß man im Ganzen nur einen einzigen Beobachtungsfehler machen kann; denn wenn man auch die Masse des Regens für einen bestimmten Monat zu gering abgelesen hätte, so käme dies am Ende des Jahres oder bei jeder folgenden Messung wieder ein, da man nicht ausgieße, sondern Zeiger und alles ruhig stehen lasse, und das hinzugekommene Wasser mit dem vorhandenen oder falsch abgelesenen eine richtige Summe geben müsse. Es ist nur dafür zu sorgen, daß das zweite Rad n keinen ganzen Umgang unbemerkt macht. Indeß läßt sich auch diesem zweiten Rade ein senkrecht auf seiner Ebene stehender Stift geben, welcher bei einem Umgange einen Zahn eines dritten ganz ähnlichen Rades mitnimmt, und dadurch auch die Umgänge des zweiten Rades zählt.

Regulator, s. P e n d e l, Bd. V. S. 184.

Regulator bei Gebläsen, s. G e b l ä s e.

Reibung, F r i c t i o n (frottement) ist ein Bewegungshinderniß, das sich

überall einstellt, wo ein Körper die Oberfläche eines anderen Körpers berührt und sich auf ihr in irgend einer Weise bewegt. Der Widerstand der Reibung rührt von den Erhabenheiten und Vertiefungen her, die selbst auf den Oberflächen geglätteter und polirter Körper noch befindlich sind; die Erhabenheiten des einen Körpers greifen in die Vertiefungen des anderen ein. Soll nun ein Körper, der auf einer Unterlage ruht, in Bewegung gesetzt werden, so müssen entweder, wie bei sehr rauhen Flächen, die Hervorragungen abgerissen werden, oder der Körper muß über die kleinen Erhabenheiten der Unterlage gewissermaßen hinweggehoben werden, wie dies bei wohlgeebneten Flächen geschieht. Stets ist die Reibung ein Hinderniß, das in der Richtung der Bewegung dieser letzteren entgegenwirkt. Dieselbe kommt aber als Bewegungshinderniß in zweifacher Beziehung in Betracht, nämlich als Reibung der Ruhe und als Reibung der Bewegung; denn ihr Widerstand ist sowohl beim Uebergange aus der Ruhe in die Bewegung als während der Bewegung zu überwinden. Sodann unterscheidet man gleitende und rollende (wälzende) Reibung, je nachdem ein Körper sich auf seiner Unterlage gleitend oder drehend im progressiven Sinne, d. h. um eine fortgehende Axe bewegt. Ist die Bewegung aber eine drehende um eine feste Axe, wie dies der Fall ist, wenn sich ein cylindrischer Zapfen in seiner Pfanne dreht, so hat man es ebenfalls mit der gleitenden Reibung zu thun, die man in diesem Falle Zapfenreibung nennt. Doch giebt es liegende und stehende Zapfen; dort findet die Reibung zwischen dem Zapfen und der inneren Mantelfläche der Pfanne statt, hier zwischen der unteren kreisförmigen Basis des Zapfens und seinem Lager, auf welches er sich stützt.

Es hat sich nun ergeben, daß 1) die Größe der Reibung proportional ist dem Normaldrucke der sich reibenden Körper; daß sie 2) unabhängig ist von der Größe der Reibungs- oder Berührungsflächen, da mit der Anzahl der sich reibenden Theile die Druckfläche größer und in demselben Verhältnisse der Druck selbst geringer wird; daß sie 3) unabhängig ist von der Geschwindigkeit des bewegten Körpers, obwohl die Reibung der Ruhe größer als die der Bewegung ist.

Die Adhäsion (s. d. Art.) ist auf die Reibung von Einfluß, jedoch nur dann von beträchtlichem, wenn der Druck ein geringer ist, so daß sie in dem Falle, wo letzterer groß ist, außer Acht gelassen werden kann. Vermindert wird die Reibung durch zweckmäßige Schmiermittel, durch welche die Unebenheiten ausgefüllt werden, obschon die Adhäsion dadurch vermehrt wird.

Es sei nun N der Normaldruck, welchen ein Körper auf seine Unterlage ausübt, F der betreffende Reibungswiderstand oder auch die Kraft, welche gerade erforderlich ist, um den Körper in Bewegung zu setzen, d. h. die Reibung zu überwinden; und in einem zweiten Falle seien unter sonst gleichen Umständen, nämlich bei derselben Materie, Schmiere &c., N' der Normaldruck und F' der Reibungswiderstand; so hat man $F : F' = N : N'$, also $F = \frac{F'}{N'} . N$.

Sobald nun $\frac{F'}{N'} = \mu$ durch Versuche bekannt ist, hat man für alle Fälle derselben Art als Ausdruck der gleitenden Reibung $F = \mu . N$.

Das Verhältniß $\frac{F'}{N'}$, nämlich das Verhältniß des Reibungswiderstandes F'

zum Drucke N', oder auch die Reibung für den Druck = 1, nennt man den Reibungscoefficienten, den man gewöhnlich durch den Buchstaben μ oder wohl auch durch f bezeichnet. Derselbe mußte für Körper von verschiedener materieller Beschaffenheit besonders bestimmt werden. Hierzu boten sich verschiedene Methoden dar. Einmal eine schiefe Ebene mit veränderlichem Neigungswinkel. Kommt auf dieselbe ein Körper zu liegen, so weiß man (s. Art. Ebene, schiefe), daß die Kraft, mit welcher der Körper längs der schiefen Ebene hinabzugleiten strebt, $= G \sin \alpha$ und der Druck des Körpers senkrecht gegen die schiefe Ebene $= G \cos \alpha$, wenn G das Gewicht des Körpers und α den Neigungswinkel der schiefen Ebene bezeichnet. Nun ist die Reibung ein Widerstand, welcher der schiefen Ebene parallel wirkt und den Körper am Hinabgleiten zu hindern sucht. Wenn der Neigungswinkel eine gewisse Grenze nicht überschreitet, so ist die Reibung allein fähig, den Körper auf der Ebene zurückzuhalten. Ist aber ϱ der Grenzwinkel, bei welchem die Bewegung des Körpers gerade beginnt, so ist, weil die Reibung einen bestimmten Bruchtheil μ des Druckes ausmacht, $\mu G \cos \varrho = G \sin \varrho$, woraus $\mu = \text{tang} \, . \, \varrho$ als Reibungscoefficient (für den Uebergang aus Ruhe in Bewegung) resultirt. Der Winkel ϱ, dessen Tangente der Reibungscoefficient ist, wird Reibungs- oder Ruhewinkel genannt.

Coulomb *) und Morin **) benutzten folgende Vorrichtung zur Ermittelung der Reibungscoefficienten. Man denke sich einen festen horizontalen Tisch, auf welchen man Bohlen von verschiedenem Material legen kann. Auf eine solche Bohle legt man eine Schleife oder einen Schlitten von demselben oder auch von irgend einem anderen Material, befestigt daran ein Seil, welches über eine am Tische befestigte Rolle geht und an seinem unteren Ende eine Schale zur Aufnahme von Gewichten trägt. Nun ermittelt man das Gewicht, bei welchem gerade die Bewegung der Schleife erfolgt, und das Verhältniß dieses Gewichts zum Gewichte des Körpers oder zu seinem Drucke auf die Unterlage giebt den Reibungscoefficienten.

Um aber die Coefficienten für die Reibung der Bewegung zu bestimmen, kann man, wie dies schon Vince ***) that, die Fallräume des ziehenden Gewichtes für verschiedene Zeiten beobachten, oder man berechnet die Zeit, welche die Schleife zum Durchlaufen eines gewissen Weges nöthig hat. Ist nun Q das Gewicht der fortgezogenen Schleife und P das in der Schale ziehende Gewicht, so ist μQ die Reibung und $s = \frac{P - \mu Q}{P + Q} \cdot \frac{1}{2} g t^2$ der Ausdruck für den Fallraum in der Zeit t, woraus sich ergiebt $\mu = \frac{P}{Q} - \frac{P + Q}{Q} \cdot \frac{2 s}{g t^2}$.

Wenn sich ein Zapfen in einer Pfanne dreht, so läßt sich die Reibung als eine Kraft betrachten, welche nach der Tangente des Zapfens wirkt, und der Be-

*) Mém. présent. à l'acad. de Paris. T. X. p. 166. Théorie de machines simples etc. Nouv. édit. 1821.

**) Nouvelles Expériences sur le frottement, faites à Metz en 1831. 1832. 1833; Par. 4. deuxième Mémoire. 1834 troisième Mém. 1835. Vergl. Brix in Verhandl. des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen. Jahrg. 16 u. 17. Berl. 1837 und 1838.

***) Phil. Transact. 1785. p. 165.

wegung um so mehr widersteht, je größer ihr Moment, d. h. je größer der Halbmesser des Zapfens ist. Man denke sich nun eine cylindrische Welle oder eine feste Rolle (s. d. Art. Rolle), deren Zapfen in Pfannen ruhen und in diesen beweglich sind. Ein Seil gehe über den Umfang der Rolle und trage an seinen Enden gleiche Gewichte. Nun sollte das kleinste Uebergewicht, das man auf der einen oder anderen Seite zulegt, eine Bewegung hervorbringen. Der Reibungswiderstand am Zapfen erfordert jedoch ein Uebergewicht von bestimmter Größe. Bezeichnet man das letztere durch Q, den Halbmesser der Rolle durch R und den Halbmesser des Zapfens durch r; so ist zunächst der Zapfendruck $= 2P + Q$, und weiter $Q \,.\, R = \mu\,(2P + Q)\,r$, und hieraus $\mu = \frac{Q}{2P + Q} \,.\, \frac{R}{r}$.

Musschenbroek stellte mit einer solchen Vorrichtung, die er Tribometer (τρίβω, ich reibe) nannte, Versuche über die Zapfenreibung an.

Der obige Werth von μ ist der Coefficient für die Zapfenreibung der Ruhe. In Rücksicht auf Bewegung hat man, wenn s den Fallraum des Gewichtes P in der Zeit t bezeichnet, $\mu = \left(\frac{Q}{2P + Q} - \frac{2s}{g t^2}\right)\frac{R}{r}$.

Der Reibung entspricht, da sie als eine der Bewegung widerstehende Kraft anzusehen ist, eine bestimmte mechanische Arbeit (s. d. Art.), die auf dem Wege s, den ein Körper auf einer Unterlage gleitend zurücklegt, zu verrichten ist. Wenn nun die Größe der Reibung $F = \mu N$ ist, wo N den Normaldruck auf die Unterlage bezeichnet, so hat man für die der Reibung entsprechende mechanische Arbeit $Fs = \mu N s$.

Auf ganz ähnliche Weise bestimmt sich die mechanische Arbeit bei der Zapfenreibung. Ist N der Zapfendruck rücksichtlich des Lagers, so erscheint $F = \mu N$ als Größe der Reibung, die auf dem Wege $2\pi r$ zu überwinden ist, falls nämlich r den Halbmesser des Zapfens bezeichnet. Daher ist die in Folge der Zapfenreibung erforderliche mechanische Arbeit $= 2\pi r \,.\, \mu N$ während einer Umdrehung, und wenn die Anzahl der Umdrehungen des Zapfens in der Minute n beträgt, so hat man für die entsprechende mechanische Leistung in 1 Secunde natürlich $2\pi r \mu N \,.\, \frac{n}{60} = \frac{\pi r \mu N n}{30}$.

In Hinsicht auf die gleitende Reibung wollen wir hier noch den besonderen Fall hervorheben, wo sich ein conisch gearbeiteter Hahn in seinem ihm gleich geformten Lager umdreht. Ein solcher Hahn beschreibt während der Drehung an seinen ungleich starken Stellen ungleiche Wege, woher es auch kommt, daß er sich an seinem dickeren Ende mehr durch die Reibung abnutzt und nach einiger Zeit verscheuert, wenn der dichte Verschluß durch Druck erzwungen werden soll. Die Reibung vertheilt sich nämlich hier so, daß das Product des Druckes in die Länge des Weges allenthalben dasselbe und also der Druck am dickeren Ende geringer ist. Man hat daher vorgeschlagen, die conische Form der Hähne aufzugeben und ihnen eine Oberfläche von doppelter Krümmung zu ertheilen, welche letztere der Rotationsfläche der sogenannten Reibungscurve zu entsprechen hat. Diese Curve ist aber dadurch charakterisirt, daß alle von ihr nach der Axe gezogenen Tangenten gleiche Länge haben. Dadurch soll die Reibung auf ein Minimum reducirt und

die Abnutzung an allen Stellen gleichmäßig werden, so daß der Verschluß stets dicht bleibt *).

Die folgenden Tafeln geben die Reibungscoefficienten verschiedener in der Praxis vorkommender Körper.

Gleitende Reibung.

Reibende Körper	Beschaffenheit der Flächen	Reibungscoefficient der Ruhe	Reibungscoefficient der Bewegung
Holz auf Holz (im Mittel)	Trocken	0,50	0,36
" " " . . .	Mit Wasser benetzt	0,68	0,25
" " " . . .	Schweineschmalz	0,21	0,07
" " " . . .	Talg	0,19	0,07
" " " . . .	Trockne Seife	0,36	0,15
" " " . . .	Polirt und fettig	0,35	0,12 (fettig)
Eiche auf Eiche in der Richtung der Fasern . .	Trocken	0,60	0,48
Metall auf Metall . .	Trocken	0,18	0,18
" " " . .	Mit Olivenöl	0,12	0,07
" " " . .	Mit Schweineschmalz	0,10	0,09
" " " . .	Mit Talg	0,11	0,08
" " " . .	Polirt und fettig	0,15	0,13 (fettig)
" " " . .	Reine Wagenschmiere	—	0,15
Gußeisen auf Gußeisen .	Trocken	0,15	0,16
" " " . .	Wasser	—	0,31
Schmiedeeisen auf Gußeisen	Trocken	0,19	0,18
Holz auf Metall . . .	Trocken	0,60	0,42
" " " . . .	Wasser	0,65	0,24
" " " . . .	Olivenöl	0,10	0,06
" " " . . .	Schweineschmalz	0,12	0,07
" " " . . .	Polirt und fettig	0,10	0,14 (fettig)
" " " . . .	Reine Wagenschmiere	—	0,10
Hanf in Seilen, Zöpfen oder Gurten auf Holz .	Trocken	0,63	0,45
Desgleichen	Wasser	0,87	0,33
Dickes Sohlenleder zu Liderungen auf Holz oder Gußeisen, und zwar hochkantig	Trocken	0,43	0,34
Desgleichen	Wasser	0,62	0,31
Desgleichen	Olivenöl	0,12	0,14
Desgleichen	Talg	—	0,14
Sohlenleder, flach auf Holz oder Gußeisen . . .	Trocken	0,62	—

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXII. S. 331; Bd. CXIII. S. 8.

Reibende Körper	Beschaffenheit der Flächen	Reibungscoefficient der Ruhe	Reibungscoefficient der Bewegung
Sohlenleder, flach auf Holz oder Gußeisen . . .	Wasser	0,80	—
Desgleichen	Olivenöl	0,13	—
Sohlenleder, flach auf Holz oder Metall, roh . .	Trocken	—	0,54
Desgleichen	Wasser	—	0,36
Desgleichen	Olivenöl	—	0,16
Desgleichen	Talg	—	0,20
Sohlenleder, flach auf Holz oder Metall, geklopft .	Trocken	—	0,30

Zapfenreibung, nach Morin.

Reibende Körper	Beschaffenheit der Flächen	Reibungscoefficienten d. Bewegung
Gußeisen auf Gußeisen . .	Fettig und mit Wasser benetzt . .	0,137
" " " . .	Geschmiert und mit Wasser benetzt .	0,079
" " " . .	Oel, Talg oder Schweinefett (in gewöhnlicher Weise behandelt) . .	0,075
" " " . .	Oel, Talg oder Schweinefett (gut unterhalten)	0,054
Gußeisen auf Glockengut .	Trocken	0,194
" " " .	Fettig und mit Wasser benetzt . .	0,161
" " " .	Oel, Talg oder Schweinefett (auf gewöhnliche Weise)	0,075
" " " .	Oel, Talg oder Schweinefett (gut unterhalten)	0,054
" " " .	Weiche und gereinigte Wagenschmiere	0,065
Schmiedeeisen auf Glockengut	Trocken und wenig fettig . . .	0,251
" " "	Fettig und mit Wasser benetzt . .	0,189
" " "	Oel, Talg, Schweinefett (auf gewöhnliche Weise)	0,075
" " "	Oel, Talg, Schweinefett (g. unterh.)	0,054
" " "	Sehr weiche u. gerein. Wagenschmiere	0,090
" " "	Schweineschmalz mit Graphit . .	0,111
Schmiedeeisen auf Gußeisen	Oel, Talg, Schweinefett (auf gewöhnliche Weise)	0,075
" " "	Oel, Talg, Schweinefett (g. unterh.)	0,054
Glockengut auf Glockengut .	Oel, Talg, Schweinefett (auf gewöhnliche Weise)	0,097
Schmiedeeisen auf Guajakholz	Trocken oder wenig fettig . . .	0,188

Reibende Körper	Beschaffenheit der Flächen	Reibungscoefficient d. Bewegung
Gußeisen auf Guajakholz .	Trocken oder wenig fettig . . .	0,185
" " " .	Oel, Talg, Schweinefett (auf gewöhnliche Weise)	0,100
" " " .	Oel, Talg, Schweinefett (gut unterhalten)	0,092
" " " .	Schweineschmalz mit Graphit . .	0,140
Guajak auf Guajak . . .	Oel, Talg, Schweinefett (gut unterhalten)	0,070

Wenn ein Zapfen gewissermaßen nur in einem Punkte auf sein Lager drückt, wie dies wohl bei einem sogenannten ausgelaufenen Zapfen stattfindet, so ist die Reibung kleiner, als wenn der Zapfen noch in vielen Punkten mit dem Lager in Berührung steht.

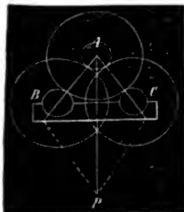
I.



Dreht sich der Zapfen, so wird derselbe um etwas gehoben werden, bis sich die Reibung mit dem Streben zum Herabgleiten ins Gleichgewicht gesetzt hat. Den durch den Berührungspunkt gehenden Druck P (s. beistehende Fig. I.) kann man nun in die Normalkraft N und in die Tangentialkraft T zerlegen. Es ist dann die Reibung $F = \mu N = T = P \sin\alpha$, und $N = P\cos\alpha$; also $\mu P \cos\alpha = P \sin\alpha$, und $\mu = \text{tang}\,.\,\alpha$, $\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$; daher $F = \frac{\mu P}{\sqrt{1+\mu^2}}$.

Um die Zapfenreibung zu vermindern, benutzt man mitunter sogenannte Frictionsräder. In diesem Falle ruht ein Rad A (s. beisteh. Fig. II.) mit jedem Ende seiner Axe auf zwei Rädern B und C. Der Halbmesser dieser 3 Räder sei R und der Halbmesser ihre Zapfen r. Der Druck P des Rades A zerlegt sich in zwei Seitenkräfte nach den Richtungen der Linien AB und AC (gegen die Zapfen der Frictionsräder B und C hin), und zwar hat man für jede Seitenkraft $\frac{P}{2\cos {}^1\!/_2\,\alpha}$, falls man den Winkel BAC durch α bezeichnet. In Folge der wälzenden Reibung zwischen dem Zapfen des Rades A und den Umfängen der Räder B u. C laufen die letzteren mit diesem Zapfen um. Für die Reibungen in den Lagern der Räder B und C hat man dann zusammen $\frac{\mu P}{\cos {}^1\!/_2\,\alpha}$. Zur Ueberwindung dieser Reibung ist nun am Umfange der Welle A eine Kraft erforderlich $= \frac{r}{R}\,.\,\mu\,.\,\frac{P}{\cos {}^1\!/_2\,\alpha}$. Ruhte der Zapfen A unmittelbar in einer Pfanne, so würde statt dessen die Kraft μP erfordert werden.

II.



Bei einer stehenden Welle findet, wie bereits bemerkt ist, eine Reibung zwischen der Basis des Zapfens und dem Lager statt. Bezeichnet man den Halbmesser der Basis durch r und den Druck auf das Lager durch P, so hat man für das statische Moment der Zapfenreibung $\frac{2}{3} \mu P r$, wo $\frac{2}{3} r$ den Abstand des Schwerpunktes eines (von zwei Radien der Basis eingeschlossenen) Sectors angiebt. Die sämmtlichen Reibungen auf einem solchen Sector lassen sich nämlich als parallele Kräfte betrachten, die tangential oder senkrecht gegen den Radius der Basis wirken; und der Schwerpunkt des Sectors ist der Angriffspunkt der Resultirenden dieser Parallelkräfte. Denkt man sich nun die Basis in eine Anzahl n solcher Sectoren getheilt, so erhält man für das statische Moment der Reibung eines einzelnen Sectors $\frac{2}{3} r . \frac{\mu P}{n}$, und bezüglich aller n Sectoren $n . \frac{2}{3} r . \frac{\mu P}{n} = \frac{2}{3} r . \mu P$. — Der Reibungscoefficient μ ist hier aus der Tabelle für die gewöhnliche gleitende Reibung zu entnehmen.

Wenn der Zapfen conisch zugespitzt ist, so ist die Reibung größer als im vorigen Falle, wo wir uns einen Zapfen mit ebener Basis dachten. Bei conischer Zuspitzung zerfällt nämlich der Axendruck P bezüglich der Seitenfläche in Normalpressungen, die zusammen größer als P sind.

Am geringsten erscheint die Arbeit der Reibung da, wo verhältnißmäßig leichte Körper sich auf Spitzen, Schneiden rc. drehen, obschon auch hier vermöge des Druckes und der Abnutzung eine endliche Reibungsfläche entsteht. Ruht ein drehbarer Körper auf einer harten Stahlspitze, so wächst nach Coulomb's Versuchen die Reibung ein wenig stärker als der Druck, und ist überdies veränderlich mit der Schärfe der Zuspitzung des Stiftes. Dieselbe ist am größten bei einer Stahlfläche, minder groß bei einer Glasfläche und einer Fläche von Bergkrystall, noch kleiner bei einer Achatfläche und am kleinsten bei einer Granatfläche. Mit zunehmendem Druck muß die Zuspitzung des Stiftes nach einem größeren Convergenzwinkel geschehen. — Sitzt der Körper auf der Spitze nicht mit einer ebenen Fläche, sondern mittelst einer sphärischen oder conischen Höhlung auf, so ist die Reibung größer.

Die wälzende Reibung findet, wie bereits hervorgehoben, da statt, wo ein Körper auf einer Ebene fortrollt. Wiewohl hinsichtlich derselben noch keineswegs ausreichend scharfe Bestimmungen vorliegen, so weiß man doch, daß dieselbe geringer als die gleitende Reibung ist, daß sie aber gleich dieser mit dem Drucke wächst; nur herrscht noch Ungewißheit darüber, in welchem numerischen Verhältniß die wälzende Reibung zu dem Drucke steht. Nach einigen Versuchen Coulomb's ist sie dem Druck direct proportional. Ferner weiß man, daß im Allgemeinen diese Reibung abnimmt, wenn der Halbmesser des sich wälzenden Körpers größer wird; aber es ist noch nicht als ausgemacht anzusehen, ob sie mit dem Halbmesser, wie Coulomb's Versuche darzuthun scheinen, überall im einfachen umgekehrten Verhältniß steht. Läßt man Coulomb's Ermittelungen gelten, so hat man für die wälzende Reibung die Formel $F = \mu . \frac{P}{r}$, falls μ der Reibungscoefficient und P, r resp. den Druck und Halbmesser des betreffenden Körpers bezeichnen, und die Kraft am Umfange der Walze wirkt.

Für Walzen aus Guajakholz, auf Eichenholz fortgewälzt, fand Coulomb $\mu = 0{,}006$ des Druckes bei einer Walze von 6 Zoll Durchmesser und $= 0{,}018$ des Druckes bei 2 Zoll Durchmesser. Für Walzen aus Ulmenholz ergab sich $\mu = 0{,}031$.

Nach Tredgold ist die wälzende Reibung der $^3/_2$ten Potenz, und nach Brix der $^4/_3$ten Potenz des Druckes proportional, und soll nach letzterem im umgekehrten Verhältniß der $^2/_3$ten Potenz des Halbmessers und der $^1/_3$ Potenz der Bahnbreite stehen.

Die wälzende Reibung ist am Umfange der Wagenräder zu überwinden, und nach Morin's Versuchen über den Widerstand der Wagen auf Straßen wächst dieselbe, in Uebereinstimmung mit dem Coulomb'schen Gesetze, direct mit dem Drucke gleichmäßig und umgekehrt mit dem Halbmesser der Walze oder des Rades. Dagegen soll nach Dupuit die wälzende Reibung zwar dem Drucke direct, aber nur der Quadratwurzel aus dem Halbmesser der Walze umgekehrt proportional sein.

Ueber den Reibungswiderstand der Locomotiven auf Eisenbahnen haben namentlich Morin *) und Pambour **) genauere Versuche angestellt. Bezüglich dieses Reibungswiderstandes wolle man den Art. Locomotive, Bd. IV. S. 622 ff. nachsehen.

Theoretische Untersuchungen über die wälzende Reibung, namentlich auch in Bezug auf den Umstand, daß sie viel geringer als die gleitende Reibung ist, sind von Euler ***) vorgenommen worden ****).

Schließlich wollen wir nun noch die Reibung eines biegsamen Körpers, eines Seils, betrachten, das um die Peripherie eines festliegenden (nicht um seine Axe beweglichen) Cylinders gelegt ist. Wird dasselbe an seinen Enden tangential von den Kräften P und Q (s. nebenstehende Figur) angegriffen, so fragt es sich, wie groß P sein muß, wenn bei der geringsten Vermehrung dieses letzteren ein Fortgleiten des Seils um den Cylinder erfolgen soll.



Ist der Bogen ab unendlich klein, so kann man die an den Endpunkten desselben tangential einander entgegenwirkenden Kräfte als gleich groß betrachten. Bezeichnet man nun eine jede von diesen Kräften durch y, so folgt der Normaldruck $n = 2y \sin \frac{ab}{2} = 2y \sin \frac{\delta}{2}$, oder auch, da man bei einem so kleinen Bogen diesen seinem Sinus gleich setzen kann, $n = y\delta$.

Setzt man den Normaldruck aus den entgegenstrebenden Seilspannungen

*) Vergl. die oben citirte Abhandlung.

**) Traité theorique et pratique de machines locomotives etc. 3me édit. Par. 1843.

***) Comment. Acad. Petrop. T. XIII. p. 220. 247. 252. Novi Comm. acad. Petrop. T. VI. p. 233.

****) Vergl. auch v. Gerstner's Mechanik. Bd. I. §. 537; und Brix in der oben citirten Abhandlung über die Reibung.

auf dem Bogen ma : $= N$, und bezeichnet φ den zu ma gehörigen Winkel (für den Halbmesser 1); so hat man $dN = n = y\delta$, und $d\varphi = \delta$; daher $dN = y\,d\varphi$.

Für den letzten Moment des noch bestehenden Gleichgewichtes ist aber $y = Q + \mu N$.

Durch Differentiiren erhält man aus dieser Gleichung: $dy = \mu\,dN$, oder $dy = \mu \,.\, y\,d\varphi$, also $\frac{dy}{y} = \mu \,.\, d\varphi$; folglich $\log y = \mu\varphi + Const.$

Für $\varphi = o$ wird nun $y = Q$, daher $Const. = \log Q$, und $\log y = \mu\varphi + \log Q$, oder $\log \frac{y}{Q} = \mu\varphi$.

Wenn nun e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen bezeichnet, für welche $\log e = 1$ ist, so giebt die letzte Gleichung $\frac{y}{Q} = e^{\mu\varphi}$, und hieraus folgt, wenn man $\varphi = \alpha =$ dem Winkel mcm' setzt, wo dann $y = P$ wird, $P = e^{\mu\alpha} \,.\, Q$.

Ist das Seil n Mal um den Cylinder geschlungen, so ist $\alpha = n \,.\, 2\pi$, also $P = e^{2\pi.n.\mu} \,.\, Q$ *).

Für $\mu = \frac{1}{3}$ und $n = o$ ist $P = Q$.

Für $\mu = \frac{1}{3}$ und $n = \frac{1}{2}$ ist $P = 2{,}85\ Q$.

Für $\mu = \frac{1}{3}$ und $n = 1$ ist $P = 8{,}121\ Q$.

Für $\mu = \frac{1}{3}$ und $n = 6$ ist $P = 286789\ Q$.

Von einer solchen Seilumwickelung um einen horizontalen feststehenden Cylinder und der damit verbundenen Reibung wird mitunter Gebrauch gemacht, um eine große Last von einer gewissen Höhe, z. B. in einem Schachte, langsam und gleichförmig herabzulassen.

Die Art und Weise, wie der Reibungscoefficient in besonderen Fällen in die Rechnung einzuführen ist, erhellet aus verschiedenen mechanischen Artikeln dieses Werkes.

Ueber ein anderes Bewegungshinderniß, welches sich beim Aufwickeln eines Seiles um einen Cylinder, und auch, im geringeren Grade, beim Abwickeln von demselben geltend macht, vergleiche man den Art. Steifigkeit der Seile.

Reif ist die bekannte Eisbildung, die in den kälteren Jahreszeiten an der Oberfläche starrer Körper, welche der freien Luft ausgesetzt sind, beobachtet wird. Derselbe besteht, wie der Schnee, aus regelmäßig krystallisirten Eistheilchen, die nicht selten zu schönen Figuren unter einander verbunden sind. Seine Entstehung fällt im Wesentlichen mit der des Thau (s. d. Art.) zusammen, weshalb man ihn auch als einen gefrornen Thau bezeichnet hat. Die starren Körper erhalten nämlich während der Nacht, durch Ausstrahlung ihrer Wärme eine Temperatur, welche um einige Grade niedriger als die der Atmosphäre ist, aus welcher der Thau niederfällt; und ist diese Temperatur unter Null, so müssen die auf die Körper sich niederschlagenden Dampftheilchen erstarren (gefrieren). Eine andere Art der

---

*) Vergl. Eytelwein's Statik, Bd. II. S. 23. Lehmus' Lehrb. der angew. Mathem. Th. II. S. 117.

Reifbildung kommt häufig dann vor, wenn auf länger dauernde Kälte wärmere und feuchte Winde folgen. Dann schlägt sich die Feuchtigkeit der Luft in Gestalt feiner Eiskrystalle auf allen Körpern nieder, und bildet, namentlich, wenn Spinnefäden einen Anhaltspunkt darbieten, die mit feinen Eiskrystallen überzogenen Fäden, welche häufig auch an den Aesten der Bäume, insbesondere bei Nebeln, auftreten und Franzen oder Bärte bilden *). Eine gleiche Entstehung haben auch die feinen Eistheilchen, welche an den Haupt- und Barthaaren binnen kurzer Zeit sich bilden, wenn man im Winter bei einiger Kälte in die freie Luft sich begiebt. Die Haare erkalten nämlich und bereifen, indem sich aus dem warmen feuchten Athem die Feuchtigkeit auf sie niederschlägt. — Die Eiskrystalle des Reifes erscheinen um so feiner und glänzender, je niedriger die Temperatur und je geringer die Menge des in der Atmosphäre vorhandenen Wasserdampfes ist. — Eine dem Reife analoge Erscheinung ist auch die Bildung des Eises an den Fensterscheiben, welche durch die äußere Temperatur erkältet sind, so daß sich aus der wärmeren und feuchten Zimmerluft die Feuchtigkeit an ihnen absetzt und sogleich Eiskrystalle bildet (vergl. hierüber d. Art. Eis).

Rücksichtlich der Form ist der Reif von dem Glatteise zu unterscheiden, worunter man die glatte Eisrinde versteht, welche die unter dem Gefrierpunkte erkaltete Oberfläche verschiedener Körper überzieht, wenn dieselben mit wässerigen Niederschlägen in Berührung kommen.

Relativ, s. Absolut.

Repulsion, s. Anziehung.

Resonanz, s. Ton.

Resultante, Resultirende (v. resultare, sich ergeben) heißt in der Mechanik diejenige Kraft, welche vermöge ihrer Stärke und Richtung zwei oder mehrere gegen einen materiellen Punkt oder Körper gerichtete Kräfte so ersetzen kann, daß ihre Wirkung dieselbe wie die dieser Kräfte zusammengenommen ist. Man kann jede auf einen Körper wirkende Kraft ihrer Größe und Richtung nach durch eine gerade Linie darstellen, deren Länge wohl auch den Weg bezeichnen kann, welchen gemäß dieser Kraft der von ihr frei bewegte Körper in der Zeiteinheit zurücklegen wird. Wenn nun zwei Kräfte auf einen Körper wirken, und diese Kräfte in der angegebenen Weise bezeichnet sind, so ist die wirkliche Richtung und Länge des in der Zeiteinheit von einem so bewegten Körper zurückgelegten Weges bezeichnet durch die Diagonale des Parallelogramms, das sich aus jenen, die wirkenden Kräfte darstellenden Linien construiren läßt. Mittelst dieses Satzes, des Parallelogramms der Kräfte, kann man auch die Resultante oder Resultirende mehrerer auf einen Körper wirkender Kräfte finden (s. d. Art. Bewegung, Bd. I. S. 817 ff. und Statik).

Rheometer (Strommesser) ist gleichbedeutend mit Galvanometer (s. d. Art. Multiplicator).

Rheophor (Stromträger), ein von Ampère gebrauchter Ausdruck für den Schließungsdraht einer Volta'schen Kette oder Säule.

Rheostat, s. Strom, elektrischer.

Rhodium (von ῥοδόεις, rosig), ein Metall, zu den Begleitern des Platin

*) Vergl. Kämtz' Meteorologie. Th. I. S. 363.

gehörig. Chem. Zeichen: Rh. Chem. Aeq. = 651,962 (O = 100) oder 52,24 (H = 1).

Das Rhodium wurde von Wollaston gleichzeitig mit dem Palladium entdeckt. Außer mit den Platinerzen kommt es in Amerika noch mit Gold vor. — Beim Ausziehen des Platin aus den Erzen durch Königswasser geht hauptsächlich auch Palladium und Rhodium mit in die Lösung über. Die beiden ersteren werden, wie bekannt, entfernt, so daß nur noch Rhodium und Quecksilber, von dem überschüssig zugesetzten Fällungsmittel herrührend, in der Flüssigkeit enthalten sind. Beide Metalle schlägt man durch Zink nieder, zieht das Quecksilber durch Salpetersäure aus und löst den Rückstand in Königswasser. Die Lösung versetzt man mit Kochsalz, dampft sie ein und zieht den Rückstand mit siedendem Alkohol aus. Hier bleibt Natrium-Rhodiumchlorür zurück. Durch Auflösen in Wasser und Krystallisiren wird es gereinigt. Dann glüht man diese Verbindung in einem Glasrohr, indem man einen Strom Wasserstoffgas darüber leitet. Zieht man den Rückstand mit Wasser aus, so bleibt das Rhodium zurück. — Fremy hat darauf aufmerksam gemacht *), daß der körnige Rückstand, der mitunter beim Ausziehen des Platins ungelöst bleibt, vorzugsweise aus Rhodium, Osmium und Iridium besteht, während der unter dem Namen Osmium-Iridium bekannte schuppenförmige Rückstand wenig Rhodium enthält. Durch Rösten des ersteren wird das Osmium getrennt. Die zurückbleibende Legirung von Iridium und Rhodium enthält oftmals noch Rutheniumoxyd und Osmium. Das Rutheniumoxyd wird durch Schmelzen mit Kali entfernt. Durch Schmelzen mit Salpeter bildet sich osmigsaures Kali, das durch Wasser ausgezogen wird. Der Rückstand wird in Königswasser gelöst und mit Kochsalz eingedampft. Dann verfährt man wie oben.

In der Farbe ist das Rhodium dem Platin ähnlich, jedoch schwerer schmelz- und schweißbar wie dieses. Man kennt es nur als zusammenhängende, spröde, leicht pulverisirbare Masse. Spec. Gewicht 10,6 — 11,0. Es ist in Säuren vollständig unlöslich; ist es jedoch mit Platin und anderen Metallen legirt, so löst es sich in Königswasser. An der Luft oxydirt sich das Rhodium bei gewöhnlicher Temperatur nicht, im fein zertheilten Zustande aber bei Rothglühhitze, eben so beim Schmelzen mit Aetzkali, Salpeter und saurem schwefelsaurem Kali. Im ersteren Fall entsteht Oxydul (Rh O), oder bei geringerer Hitze ein Gemisch von Oxydul und Oxyd, im letzteren Oxyd ($Rh^2 O^3$). Letzteres ist ein schwarzes Pulver, das mit Säuren Salze bildet. Die concentrirten Lösungen derselben besitzen eine rothe, die verdünnten eine rosenrothe Farbe, von der das Metall seinen Namen erhalten hat. Kalihydrat schlägt aus den kochenden Lösungen Rhodiumoxydhydrat nieder, Eisen, Zink und Kupfer fällen daraus metallisches Rhodium. Letzteres geschieht auch durch Wasserstoffgas unter dem Einfluß des Lichtes. Schwefelwasserstoff und Schwefelammonium erzeugen einen braunen Niederschlag. Aetzammoniak liefert mit Rhodium ähnliche Verbindungen wie mit Platin und Palladium.

Die den Sauerstoffverbindungen entsprechenden Chlorverbindungen erhält man, wenn man ein Gemisch von Oxydul und Oxyd mit Chlorwasserstoffsäure behandelt. Das Chlorid ($Rh^2 Cl^3$) geht mit brauner Farbe in die Lösung, das Chlorür (Rh Cl) bleibt als röthliches Pulver zurück. Das Chlorid krystallisirt

*) Compt. rend. T. XXXVIII. p. 1008.

nicht, aber es bildet mit den Chloralkalien krystallisirende Doppelverbindungen von einer schönen rothen Farbe. — Mit Schwefel verbindet sich das Rhodium direct in der Rothglühhitze. Der Niederschlag durch Schwefelammonium besitzt die Formel $Rh^2 S^3$. W. B.

Ringkugel, Armillarsphäre ist eine Zusammensetzung mehrerer Ringe, welche die verschiedenen Kreise der Himmelskugel darstellen, um deren gegenseitige Lage zu veranschaulichen. In der Mitte des Kugelgerippes befindet sich ein kleiner Erdglobus, durch welchen in Bezug auf jene Kreise eben eine leichtere Versinnlichung herbeigeführt wird, während sonst die Himmelskugel (s. d. Art. Himmelskugel, künstliche), die durch diese Ringkugel zum Theil ersetzt wird, noch den Vorzug hat, daß auf ihr auch die Gestirne zur Darstellung kommen.

Röhrenleitungen. Wenn eine tropfbare Flüssigkeit, wie Wasser, durch ihren eigenen Druck, ohne Anwendung sonstiger Druckkräfte in einer Röhre fortfließen soll, so muß diese entweder gegen den Horizont geneigt sein, oder bei horizontaler Lage ihren Zufluß aus einem Reservoir erhalten, worin die Flüssigkeit höher steht. Das Wasser bewegt sich dann als schwerer Körper nach dem bekannten Fallgesetz, und seine Geschwindigkeit würde ohne Rücksicht auf Bewegungshindernisse sein $v = \sqrt{2gh}$, wo g die Beschleunigung der Schwere und h die Druckhöhe (d. h. hier die Tiefe des Mittelpunktes der Röhrenmündung unter dem Wasserspiegel im Reservoir) ist. Allein es fehlt hier nicht an Hindernissen der Bewegung, durch welche die Geschwindigkeit des fließenden Wassers verringert wird. Es findet eine Art Reibung (in Folge der unvollkommenen Beweglichkeit der Flüssigkeitstheilchen) und Adhäsion der Flüssigkeit an den Wandungen statt, und der hieraus entstehende Bewegungswiderstand wächst mit der Länge der Röhre und steht mit dem Durchmesser der letzteren im umgekehrten Verhältniß. Bezeichnet man nun die Länge der Röhre durch l und ihren Durchmesser durch d, so ist der besagte Widerstand dem Bruche $\frac{l}{d}$ proportional. Außerdem ist derselbe noch von der Geschwindigkeit des Wassers abhängig. Wird dieser Widerstand durch die Höhe h_1 einer Wassersäule gemessen, die man von der ganzen Druckhöhe abziehen muß, um die der wirklichen Geschwindigkeit entsprechende Druckhöhe zu finden, so läßt sich $h_1 = r \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$ setzen, wenn man annäherungsweise als richtig annimmt, daß der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit des Wassers proportional ist, und r einen durch Versuche auszumittelnden Widerstandscoefficienten bezeichnet. Ist nun ferner q die Wassermenge und $f = \frac{\pi d^2}{4}$ der Röhrenquerschnitt, so hat man für die Geschwindigkeit $v = \frac{4q}{\pi d^2}$, und hiernach

$$h_1 = \frac{r}{2g} \cdot \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{lq^2}{d^5}.$$

Rücksichtlich des Coefficienten r, der nicht unter allen Umständen constant ist, verweisen wir auf den Art. Ausfluß (Bd. I. S. 633 ff.), wo bereits die wich-

tigsten Gesetze und Formeln bezüglich der Röhrenleitungen dargestellt sind. Hier haben wir diesen Artikel nur zu ergänzen.

Ist nun h die Druckhöhe, so hat man nach dem Obigen $h - h_1 = \frac{v^2}{2g}$,

oder $h = h_1 + \frac{v^2}{2g} = r \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} = \frac{v^2}{2g}\left(1 + r \cdot \frac{l}{d}\right)$.

Sind aber die Röhren sehr lang, so kann man $h = r \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$ setzen, und hieraus folgt $v = \sqrt{\frac{2g\,h \cdot d}{r \cdot l}}$, oder, wenn man $\sqrt{\frac{2g}{r}} = C$ setzt, $v = C\sqrt{\frac{hd}{l}}$.

Nach Prony hat man für lange cylindrische Röhren (nach Metern) $v = 26{,}79 \sqrt{\frac{hd}{l}}$, und für die in einer Secunde ausfließende Wassermenge $q = 26{,}79 \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \sqrt{\frac{hd}{l}}$.

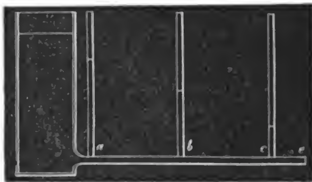
Doch giebt diese Formel nach d'Aubuisson *) bei den Toulouser und Pariser Wasserleitungen ein um ein Drittel zu großes Resultat.

Es kommt hier, wie man leicht erkennt, alles auf die Bestimmung des Werthes von h_1 und des darin enthaltenen Coefficienten r an, bezüglich dessen wir noch einmal auf den oben citirten Artikel dieses Werkes verweisen.

Nach den aufgestellten Formeln hat es keine Schwierigkeit q zu bestimmen, wenn l, d und h gegeben sind, oder auch die Druckhöhe h, falls man l, d und die fortzuleitende Wassermasse q kennt, oder endlich auch den Durchmesser d der Röhre zu ermitteln, wenn q, h und l bekannt sind.

Auf die Hindernisse und Druckverluste, welche bei gebrochenen und gekrümmten Röhren, und bei Veränderung des Querschnitts der Röhre hervortreten, ist im Art. Ausfluß (S. 634 ff.) gleichfalls Rücksicht genommen.

Die Widerstände, welche die bewegende Kraft des Wassers in den Röhren zu überwinden hat, lassen sich durch sogenannte Piëzometer messen, nämlich durch senkrecht eingefügte Röhren, welche durch die Leitungsröhre mit einander communiciren. Aus der Verzögerung der Geschwindigkeit durch die Widerstände innerhalb der Röhre entsteht ein hydrostatischer Druck des Wassers auf die Wände von innen nach außen, und diesem Drucke entspricht die Höhe der Wassersäule in der betreffenden senkrechten Röhre. Der Wasserstand in den Piëzometerröhren wird aber um so geringer, je mehr man sich der Ausflußmündung e (s. nebenstehende Figur) nähert. Die Differenz der Wasserstände in a und b giebt die Druckhöhe an, welche erforderlich ist, um dem Widerstande von a bis b das Gleichgewicht zu halten;



*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLIII. p. 244.

und der Druck der Wassersäule in b sammt dem Widerstand in der Leitungsröhre von b bis a ist gleich dem Drucke der Wassersäule in der Piëzometerröhre a dicht vor der Einflußstelle. Dieser letztere Druck hält den Widerständen von a bis e das Gleichgewicht; bei e findet kein Druck gegen die Röhrenwand statt, so daß auch das Wasser in einer hier senkrecht eingesetzten Röhre nicht aufsteigen würde. Aus der Differenz der Wasserstände im Reservoir und in der Röhre bei a bestimmt sich die Druckhöhe, welcher die Ausflußgeschwindigkeit entspricht. Die letztere läßt sich aber auch aus dem Wasserstande s in der Piëzometerröhre c berechnen. Es sei die Länge des Röhrentheils von c bis e = l und der Durchmesser desselben = d; so ist, wenn man den Reibungscoefficienten wieder durch r bezeichnet, $s = r \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$, und hieraus $v = \sqrt{\frac{2gs}{r} \cdot \frac{d}{l}}$.

Die Geschwindigkeit des Wassers ist nicht in allen Punkten eines und desselben Röhrenquerschnittes dieselbe, sondern sie nimmt von der Wand nach der Mitte hin zu; und deshalb ist auch die nach der Ausflußmenge berechnete mittlere Geschwindigkeit stets etwas größer als die durch den Widerstand der Röhrenwände in Anspruch genommene, so daß denn auch die den Verlust ersetzenden Druckhöhen nicht genau dem Quadrate der mittleren Geschwindigkeit proportional sind. — Bringt man neben einer Piëzometerröhre, deren untere Oeffnung mit der inneren Wandung einer Wasserleitungsröhre zusammenfällt, eine andere senkrecht stehende, aber unten rechtwinklig umgebogene Röhre an, so daß ihre untere Oeffnung etwa in der Mitte der Leitungsröhre der Richtung des fließenden Wassers entgegensteht; so wird in dieser Röhre sich das Wasser höher stellen als in jener. Die Differenz der Wasserstände in beiden Röhren entspricht der Geschwindigkeitshöhe.

Ueber den Druck oder Stoß, den bewegtes Wasser auf feste Körper ausübt, s. d. Art. Mechanik der Flüssigkeiten, Bd. IV. S. 955 ff.

Die Stoffe, die zur Anfertigung von Wasserröhren benutzt werden, sind Eisen, Gußeisen, Kupfer, Zink, Blei, Holz und Thon.

Nun hat jeder Theil der inneren Röhrenwand eine der Druckhöhe proportionale Pressung zu erleiden, welcher die Cohäsion der Festigkeit des betreffenden Materials entgegen wirken muß. Dieser Widerstand von Seiten der Röhre ist aber auch von der Wanddicke abhängig, und die letztere steht wieder mit dem Durchmesser der Röhre im Zusammenhang. Der Druck des Wassers auf die innere Röhrenwand läßt sich nach bekannten hydrostatischen Gesetzen bestimmen *). Die Wanddicke muß nun der innern Röhrenweite und dem Wasserdruck auf die Einheit der Fläche proportional sein und mit dem Festigkeitsmodul des betreffenden Materials im umgekehrten Verhältnisse stehen. Nimmt man noch hinzu, daß jede Röhre noch in Folge ihres eigenen Gewichtes einem bestimmten Drucke ausgesetzt ist, und aus diesem Grunde die Wanddicke noch um eine gewisse Größe $= e_1$ zu vermehren ist, so hat man, wenn die Wanddicke durch e, der innere Halbmesser durch r, der Wasserdruck auf die Einheit der Fläche durch p, und endlich der Festigkeitsmodul durch F bezeichnet wird, $e = e_1 + \frac{r \cdot p}{F}$, oder, wenn man den inneren Durchmesser der Röhre = d setzt und den Wasserdruck = n in Atmo-

*) Vergl. hierüber d. Art. Statik flüssiger Körper.

sphären, auf jede eine 10 Meter oder 33 Fuß hohe Wassersäule gerechnet, angiebt, $e = e_1 + \mu n d$, wo μ einen Erfahrungscoefficienten bedeutet *).

Man hat nun erfahrungsmäßig aufgestellt für Röhren von:

Eisenblech	$e = 0{,}00086\ nd + 0{,}12$	Zoll
Gußeisen	$e = 0{,}00238\ nd + 0{,}33$	„
Kupfer	$e = 0{,}00148\ nd + 0{,}16$	„
Blei	$e = 0{,}00242\ nd + 0{,}20$	„
Zink	$e = 0{,}00507\ nd + 0{,}16$	„
Holz	$e = 0{,}0323\ nd + 1{,}04$	„
natürlichen Steinen	$e = 0{,}0369\ nd + 1{,}15$	„
künstlichen Steinen	$e = 0{,}0538\ nd + 1{,}53$	„

Für den Ausfluß der Luft und Gase durch lange Röhren gelten, mit Berücksichtigung gewisser Modificationen, im Wesentlichen dieselben Gesetze, die oben für das Wasser aufgestellt sind. Der Widerstand, welchen die bewegte Luft von Seiten der Röhrenwand erleidet, läßt sich durch die Höhe h einer Luftsäule $= k \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$ messen, wo l, d die Länge und Weite der Röhre, v die Geschwindigkeit und endlich $k = 0{,}024$ einen Coefficienten bezeichnen. Doch kann man diesen Widerstand auch durch die Höhe einer Quecksilbersäule $= 0{,}0000023\ \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$ angeben.

Im Art. Ausfluß (Bd. I. S. 638) ist für die Geschwindigkeit der Luft, die aus einem Gefäße vom Querschnitt A durch eine Mündung mit dem Querschnitt a ausströmt, die Formel $v^2 = \frac{2g\frac{p}{\gamma}\log nat\frac{p}{p_1}}{1 - \left(\frac{a p_1}{A p}\right)^2}$ aufgestellt, wo p die Spannung der im Gefäße eingeschlossenen Luft, p_1 die der äußeren Luft, und γ die Dichte der inneren Luft bezeichnen.

Macht man von dieser Formel Anwendung auf eine Röhrenleitung von der Weite d und Ausströmungsöffnung d_1, welche Größen man (ins Quadrat erhoben) an die Stelle von A und a zu setzen hat; so ergiebt sich, falls man noch durch b den Barometerstand und durch h_1 den Stand eines Manometers am Ende der Röhrenleitung bezeichnet, für die Ausflußgeschwindigkeit

$$v^2 = \frac{2g\frac{p}{\gamma}\log nat\left(\frac{b+h_1}{b}\right)}{1-\left(\frac{b}{b+h_1}\right)^2\left(\frac{d_1}{d}\right)^4}.$$

*) Geniey's Essay sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux. Par. 1829. p. 177. v. Gerstner's Handb. der Mechanik. Th. II. S. 19. Weisbach's Ing.= und Masch.=Mechanik. 1845. Th. I. S. 353. Hagen's Handb. der Wasserbaukunst. Th. I. und Brix, über die Theorie der Röhrenstärke in d. Verhandl. des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen, Jahrg. 1834. Prechtl, Jahrb. des polytechn. Instituts in Wien. Bd. IX. S. 43.

Bezeichnet dagegen h den Manometerstand am Anfange der Leitung, so hat man

$$v^2 = \frac{2g\frac{p}{\gamma}\log\text{nat}\left(\frac{b+h}{b}\right)}{1+\left[\left(\frac{b}{b+h}\right)^2 + 0{,}024\frac{l}{d}\right]\left(\frac{d_1}{d}\right)^4}.$$

Und wenn H den Manometerstand im Gasreservoir selbst bezeichnet, so ist

$$v^2 = \frac{2g\frac{p}{\gamma}\log\text{nat}\left(\frac{b+H}{b}\right)}{1+0{,}024\frac{l\,d_1^4}{d^5}}.$$

Berücksichtigt man dabei noch den Widerstandscoefficienten für den Eintritt des Gases in die Röhre, den man nach Weisbach (s. Artikel Ausfluß, S. 639 ff.) = 0,826 setzen kann, und überdies auch noch den Ausflußcoefficienten μ bezüglich der äußeren Mündung, der, wenn die letztere die Form einer conisch-convergenten Ansatzröhre hat (Art. Ausfluß, S. 639), etwa gleich 0,85 zu nehmen ist; so folgt

$$v^2 = \frac{\mu^2 . 2g\frac{p}{\gamma}\log\text{nat}\left(\frac{b+H}{b}\right)}{1+0{,}826+0{,}024\frac{l\,d_1^4}{d^5}}.$$

Wenn man die Spannkraft der Luft, wie das häufig geschieht, durch den Druck auf die Flächeneinheit, z. B. auf das Quadratcentimeter bestimmt, so hat man, da dieser Druck im angenommenen Falle = 1,0336 Kilogr. ist und ein Cubikmeter Luft bei 0° C. und $0^m,76$ Barometerstand 1,2995 Kilogr. wiegt, $\frac{p}{\gamma} = \frac{1{,}0336}{1{,}2995}$, und wenn die Temperatur der Luft = t ist, $\frac{p}{\gamma} = \frac{1{,}0336\,(1+0{,}00364\,t)}{1{,}2995}$ $= \frac{(1+0{,}00364\,t)}{1{,}2572}$.

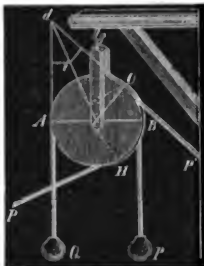
Daher (in Metern) $$v^2 = \frac{2g.\mu^2(1+0{,}00364\,t)\log\text{nat}\left(\frac{b+H}{b}\right)}{1{,}2572\left(1+0{,}826+0{,}024\frac{l\,d_1^4}{d^5}\right)}.$$

Rolle ist eine Maschine, welche sehr häufig zur Anwendung kommt. Dieselbe besteht in einer Scheibe von Holz oder Metall, durch deren Mitte eine feste Axe (Bolzen) geht, mit der die Scheibe beiderseits auf Zapfenlagern ruht, in denen sich dieselbe umdrehen kann. Der äußere Rand der Scheibe ist ringsum mit einer vertieften Rinne versehen, damit ein um die Rolle geschlungenes Seil nicht seitwärts abgleite. Die Zapfenlager befinden sich oft in einer eigenen Hülse (Scheere), welche im Allgemeinen aus zwei nach der einen Seite hin fest mit einander verbundenen Schienen besteht, in denen sich die Zapfenlager befinden.

Auf der Seite, wo beide Schienen mit einander verbunden sind, ist ein Haken oder eine Oese angebracht.

Die Alten rechneten die Rolle zu den sechs einfachen Maschinen, sie ist aber im Wesentlichen nichts anderes als eine Anwendung des Hebels. Man unterscheidet feste und bewegliche Rollen. Die feste Rolle wird bei der Erhebung einer Last nicht mit gehoben; sie kann sich nur um ihre Axe drehen. Die bewegliche Rolle wird gehoben.

Hängt man die Rolle mit ihrer Oese an einen festen Haken, und schlingt darüber ein Seil, an dem die Last Q und die Kraft P (s. beistehende Figur) angebracht sind, so hat man einen Hebel A C B, gegen dessen Enden die Kräfte P und Q senkrecht wirken. Wirkt die Kraft in der Richtung B P′, so hat man einen Winkelhebel A C H, gegen dessen Enden die Kräfte senkrecht wirken, oder, wenn O P″ die Richtung der Kraft ist, den Winkelhebel A C O. Die Kräfte wirken stets senkrecht gegen die Enden des Hebels, da das Seil immer ein Tangente an die Rolle bildet, wie auch die Kraft angebracht sein mag. Alle hier vorkommenden Hebel haben ihren Stützpunkt in C, und ihre Arme sind stets gleich dem Halbmesser der Rolle. Eine feste Rolle wirkt also wie ein gleicharmiger Hebel, d. h. Kraft und Last sind im Gleichgewichte, wenn sie gleich sind. Hiernach hat die Anwendung einer festen Rolle keine Ersparung an Kraft zur Folge; man sieht aber, daß diese Rolle ein Mittel darbietet, die Anwendung der Kraft nach jeder beliebigen Richtung möglich zu machen.



Der Punkt C hat, abgesehen vom Gewicht der Rolle, einen Druck auszuhalten, welcher der Resultirenden der beiden Kräfte P und Q gleich ist. Reflectiren wir nun auf die Kräfte P″ und Q, so werden sich die Richtungen derselben verlängert im Punkte d schneiden, der als ihr gemeinschaftlicher Angriffspunkt betrachtet werden kann. Nach dem Parallelogramm der Kräfte ergiebt sich aber leicht die Resultirende der beiden gleichen Kräfte P″ und Q. Ein jedes der Dreiecke am Punkte d ist dem Dreieck A C O ähnlich, da ihre entsprechenden Seiten bei gehöriger Verlängerung auf einander senkrecht stehen. Die Resultirende d i verhält sich hiernach zu einer jeden der beiden Seitenkräfte P″ und Q wie die Sehne S des vom Seile umfaßten Bogens zum Halbmesser R der Rolle, so daß der Druck, welchen der Punkt C zu tragen hat, $= \frac{PS}{R}$ ist, wenn man die der Last Q gleiche Kraft überhaupt durch P bezeichnet. Es ist aber auch, wenn $\angle ACO = \alpha$ gesetzt wird, $\frac{S}{2R} = \sin\frac{\alpha}{2}$, $\frac{S}{R} = 2\sin\frac{\alpha}{2}$, also jener Druck $= 2P\sin\frac{\alpha}{2}$.

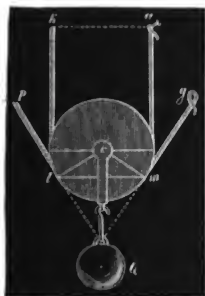
Im Falle, daß Kraft und Last parallel, ist $S = 2R$, $\alpha = 180^0$, $\sin\frac{\alpha}{2} = \sin 90^0 = 1$, also der Axendruck $= 2P$.

Für das Gleichgewicht hat man bei der festen Rolle nach dem Obigen $P = Q$.

Nimmt man nun noch auf das Gewicht G der Rolle und auf die Zapfenreibung Rücksicht, so hat man für den Zapfendruck, falls die Seile parallel sind, $P + Q + G$; und wenn μ den Reibungscoefficienten und r den Zapfenhalbmesser bezeichnet, so ist zur Herstellung des Gleichgewichtes die Kraft noch um den Betrag $\frac{\mu r}{R}(P + Q + G)$ zu vermehren, so daß man also hat: $P = Q + \frac{\mu r}{R}(P + Q + G)$.

Auch ist, wenn es streng genommen wird, noch auf die Steifigkeit des Seils (s. d. Art.) Rücksicht zu nehmen.

Bei der beweglichen Rolle ist das Seil mit einem seiner Enden, z. B. bei a oder g (s. beistehende Figur), befestigt, ist dann um die Rolle gelegt, an deren Haken die Last Q hängt, und an dem anderen Ende des Seils ist die Kraft P angebracht.



Die Kräfte, welche hier die beiden Seilstücke spannen, müssen wie bei der festen Rolle beiderseits gleich sein. Das Seil hat das Gewicht der beweglichen Rolle zu tragen; die Last Q aber, welche an der Axe dieser Rolle vertikal herabwirkt, ist der oben an der festen Rolle bestimmten Resultirenden, die dem von den beiden Kräften P und Q herrührenden Axendruck äquivalent ist, gleich, jedoch der Richtung nach entgegengesetzt. Es ist daher bei der beweglichen Rolle $Q = \frac{PS}{R}$, wo S wieder die Sehne des vom Seile umfaßten Bogens ml und R den Halbmesser der Rolle bezeichnet. Demnach verhält sich $P : Q = R : S = 1 : 2 \sin\frac{\alpha}{2}$, falls $\angle mcl = \alpha$ ist.

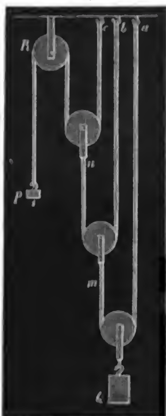
Bei der beweglichen Rolle verhält sich also die Kraft zur Last wie der Halbmesser zur Sehne des vom Seil umspannten Bogens.

Wirkt die Kraft parallel zur Last, so ist $\sin\frac{\alpha}{2} = \sin 90^0 = 1$, und $P : Q = 1 : 2$, so daß in diesem Falle eine Kraft, halb so groß wie die Last, der letzteren das Gleichgewicht zu halten vermag.

Ist aber $\sin\frac{\alpha}{2} = \sin 30^0 = \frac{1}{2}$, so hat man $P : Q = 1 : 1$, d. h. die Kraft muß zur Herstellung des Gleichgewichts gleich der Last sein. Bei diesem Winkel bietet also die Anwendung der beweglichen Rolle keinen Vortheil mehr. Ueberhaupt muß die Kraft um so größer werden, je kleiner der Winkel α wird.

Der Vortheil, den man aus der Anwendung der beweglichen Rolle zieht, kann durch die Verbindung mehrerer Rollen noch vergrößert werden. Eine derartige Verbindung von Rollen giebt den Flaschenzug (Polyspast), dessen erste Erfindung man Archimedes zuschreibt. Am nächsten der einfachen Rolle steht der sogenannte Potenzflaschenzug, den umstehende Fig. I. in seiner einfachsten Gestalt zeigt. Q ist die Last, welche am Haken der untersten Rolle hängt; um diese ist ein bei a befestigtes Seil geschlungen, welches bei m an dem Haken

I.



der zweiten Rolle festsitzt. Um die zweite Rolle geht ein kürzeres bei b und an dem Haken n der dritten Rolle befestigtes Seil, und um die letzte Rolle schlingt sich ein bei c befestigtes Seil, welches nachher über die feste Rolle R geht und an das bei P die Kraft angebracht ist. Man erkennt nun leicht, daß nach dem bei der Rolle stattfindenden Gesetze der gleichen Seilspannung, weil alle Seile hier unter einander parallel sind, die zweite Rolle nur noch die Hälfte der Last zu tragen hat, die dritte nur noch ein Viertel derselben u. s. f.; im Allgemeinen die letzte, sobald n bewegliche Rollen vorhanden sind, $\frac{1}{2^n}$ der Last. Man hat daher beim Potenzflaschenzuge $P : Q = 1 : 2^n$.

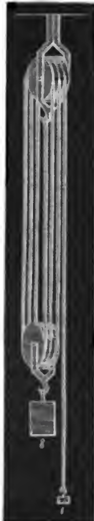
Die oberen Enden der Seile können der Bequemlichkeit wegen auch an Einem Haken befestigt werden, ohne daß man dabei einen bedeutenden Verlust an Kraft erfährt.

Bei dem gemeinen Flaschenzuge sind mehrere Rollen über oder neben einander gestellt, und durch ein Gehäuse verbunden (s. nebensteh. Fig. II.). Derselbe besteht aus zwei Gehäusen oder Flaschen, welche eine gleiche Anzahl von Rollen haben; die eine Flasche ist fest, die andere beweglich. Von dem unteren Haken der oberen Flasche geht das Seil aus, schlingt sich um die oberste Rolle der beweglichen Flasche, dann um die erste Rolle der festen, endlich um die letzte Rolle der beweglichen und um die letzte Rolle der festen Flasche. An dem Haken der beweglichen Flasche ist die Last befestigt, an das freie Ende des Seils die Kraft angebracht. Die Seile sind parallel, und die Kraft P verhält sich zur Last Q wie 1 zur Anzahl der parallelen Seile (im hier betrachteten Falle gleich 6), oder es ist, wenn die Anzahl der beweglichen Rollen = n ist, $P : Q = 1 : 2n$.

II.



III.



Anstatt die Rollen über einander zu stellen, kann man sie auch neben einander anbringen (siehe nebenstehende Fig. III.). Hierbei finden jedoch die Nachtheile statt, daß die Rollen sämmtlich auf Einer Axe sich bewegen, daher diese die ganze Last zu tragen hat und leicht sich beugen oder brechen kann, — wenn nicht etwa zwischen den Rollen starke Wände durch das Gehäuse gehen, in denen die Zapfenlager der Rollen so angebracht sind, daß jede Rolle eine eigene Axe erhält, — und daß das Seil zuletzt über die seitwärts stehenden Rollen geht, daher der Flaschenzug, sobald die Kraft thätig wird, auf dieser

Seite zuerst afficirt und dadurch leicht in eine schiefe Stellung gebracht wird. Man wendet daher derartige Flaschenzüge nur an, wenn sie aus einer geringen Anzahl von Rollen bestehen. Die genannten Uebelstände sind vermieden und zugleich eine große Anzahl von Rollen angebracht in dem von Smeaton construirten, aus den beiden vorerwähnten Arten zusammengesetzten Flaschenzuge, bei welchem zwei Reihen von Rollen über einander stehen, von denen die einen einen größeren Durchmesser als die anderen haben. Die Anzahl der neben einander stehenden Rollen muß stets eine ungerade sein.

Um die Axenreibung der Rolle zu vermindern, hat White einen Flaschenzug angegeben, bei dem die neben einander stehenden Rollen allmälig größer werden, so daß sich in jedem Bügel eigentlich ein abgestumpfter Kegel umdreht, in den in gleich weiten Abständen gleich tiefe Rinnen ringsum eingearbeitet sind. Diese Vorrichtung leidet jedoch an dem Uebelstande, daß sie schief angezogen wird, und daß sich die Seile leicht verwirren, indem sie aus ihren Fugen herausgleiten. Daher sind diese und ähnliche Einrichtungen nicht sehr in Gebrauch gekommen.

Die beistehende Figur zeigt noch einen Flaschenzug, der dem Potenzflaschenzuge näher steht. P ist die Kraft und Q die Last; die Seile vereinigen sich an dem Haken, woran die Last hängt. Da nun an dem Seile der Rolle B die Kraft P = 1 zieht, so erfährt diese Rolle vermöge der Seilspannungen auf beiden Seiten den Druck oder Zug = 2, welcher an dem über A gehenden Seil die Spannung = 2 bewirkt, so daß die Rolle A einen Zug = 4 auszuhalten hat. Und dieser Zug bewirkt wieder an dem Seile, das über die Rolle R geht, eine Spannung = 4. Es ist aber die Last Q gleich der Summe aller dieser Seilspannungen, also $= 1 + 2 + 4 = 2^3 - 1 = 7$, oder auch, wenn man anstatt der Anzahl der Seile die Zahl der beweglichen Rollen einführt, $Q = 2^{2+1} - 1 = 7$. Man hat demnach allgemein, wenn n die Anzahl der beweglichen Rollen ist, $P : Q = 1 : 2^{n+1} - 1$.

Man erkennt nun, daß in Rücksicht auf Kraftersparung der Potenzflaschenzug und der zuletzt betrachtete vortheilhafter als der gemeine sind, während jene diesem in anderer Beziehung nachstehen. Bei allen Flaschenzügen gewinnt man nur so viel an Kraft, als man an Zeit verliert (wie dies auch beim Hebel der Fall ist), oder, was dasselbe, während die Last um 1 Fuß z. B. sich hebt, muß sich die Kraft um so viele Füße bewegen, um wie viel Mal die Kraft kleiner als die Last ist. Die Anwendbarkeit des gemeinen Flaschenzuges hat ihre Grenze, wenn die beiden Flaschen einander berühren, die Anwendbarkeit des Potenzflaschenzuges, wenn die oberste bewegliche Rolle der festen Rolle nahe kommt. Mit dem Potenzflaschenzuge kann man daher die Last weniger hoch heben, als mit dem gemeinen. Nach dem angeführten Gesetze muß z. B., wenn Q (s. Fig. I. S. 646) um 1 Fuß sich erheben soll, sich m um zwei Fuß, folglich n um 4 Fuß erheben, und P um 8 Fuß sinken. Im Allgemeinen wird man daher zur Hebung von Lasten auf größere Höhen den gemeinen Flaschenzug, bei Hebung von großen Lasten auf kleine Höhen einen Potenzflaschenzug oder den in der beistehenden Figur dargestellten Flaschenzug anwenden.

Rostpendel, s. Compensation.

Ruthenium. Chem. Zeichen: Ru. Chem. Aeq. = 651 (O = 100) oder 52,163 (H = 1). Es ist erst neuerdings unter den Platinmetallen entdeckt worden und noch sehr wenig bekannt. Zuerst kommt es bis zu 6 Proc. in dem Osmium-Iridium vor. Röstet man diese Legirung in einem Porzellanrohr, während mittelst eines Aspirator die Luft hindurch gezogen wird, so setzt sich das Rutheniumoxyd in Krystallen an die Porzellanstücke an, die sich am Ende des Rohres befinden. Das schwarze Rutheniumoxyd wird durch Wasserstoffgas reducirt. Das Ruthenium besitzt eine graue Farbe; es ist dem Iridium in seinen chemischen Eigenschaften so ähnlich, daß es lange Zeit damit verwechselt worden ist. In der Regel enthalten die Iridiumsalze auch stets noch Ruthenium. Das Ruthenium ist unschmelzbar, kann aber in der Rothglühhitze zu zusammenhängenden, porösen und spröden Stücken vereinigt werden. Durch Königswasser wird es nur sehr schwer angegriffen. Spec. Gewicht 8,6. Beim Erhitzen an der Luft oxydirt es sich. Man hat verschiedene Sauerstoffverbindungen und die diesen entsprechenden Chlorverbindungen dargestellt. W. B.

Sacharometer, s. Aräometer, Bd. I. S. 278 und Polarisation des Lichtes, Bd. V. S. 456.

Säule, elektrische, (galvanische, volta'sche) nennt man eine aus ungleichartigen Körpern in bestimmter Ordnung hergestellte Vorrichtung, so daß durch die wechselseitige Berührung dieser Körper freie Elektricität auftritt, die durch Verbindung der Endglieder dieser Vorrichtung in der Form des elektrischen Stromes sich äußern kann. Die Art und Weise der Elektricitätsentwickelung durch Contact ungleichartiger Körper ist im Art. Galvanismus (Bd. III. S. 304) näher behandelt, und daselbst auch die Einrichtung der gewöhnlichen volta'schen Säule und verschiedener anderer elektrischer (galvanischer) Ketten in der Hauptsache beschrieben worden. Es liegt uns hier ob, die verschiedenen elektrischen Ketten und Säulen als Apparate zu beschreiben, während die hierbei in Betracht kommenden quantitativen Beziehungen im Art. Strom, elektrischer, ihre Erledigung finden werden.

Man hat nun zunächst die einfache (galvanische oder voltaische) Kette von der zusammengesetzten Kette zu unterscheiden, welche letztere aus einer größeren oder geringeren Anzahl einfacher Ketten zusammengefügt ist. Die zusammengesetzte Kette nennt man aber je nach der Art und Weise, wie in ihr die einfachen Ketten mit einander verbunden sind, entweder eine galvanische Säule oder eine galvanische Batterie.

Eine einfache volta'sche oder galvanische Kette wird erhalten, wenn man zwei ungleichartige Metalle, die an einem oder mehreren Punkten mit einander in metallischer Berührung stehen, an anderen Punkten durch einen flüssigen Leiter mit einander in Verbindung setzt. Häufig verfährt man so, daß man zwei ungleichartige Metallplatten, die sich durch einen Draht bequem mit einander verbinden lassen, in ein Glasgefäß, welches eine leitende Flüssigkeit enthält, dergestalt einsenkt, daß dieselben innerhalb des Gefäßes durch eine Flüssigkeitsschicht von einander getrennt sind; oder man macht aus einem der Metalle, z. B. aus Kupfer, ein

Gefäß, füllt dieses mit der leitenden Flüssigkeit und taucht in die letztere das andere Metall (Zink) so, daß es die Wände des Gefäßes nicht berührt. Durch einen Kupferdraht können beide Metalle außerhalb der Flüssigkeit mit einander verbunden werden. Als Flüssigkeit nimmt man gewöhnlich verdünnte Schwefelsäure. Auch kann man anstatt der Cylinder nach Oersted einen parallelepipedischen Trog aus Kupferblech verfertigen lassen, diesen zum Theil mit der verdünnten Säure füllen und in die letztere wie vorher die Zinkplatte einsenken. Ist aber das Gefäß ein Kupfercylinder, so kann man auch dem Zink die Form eines hohlen offenen Cylinders geben.

Will man eine einfache Kette dieser Art mit großer Oberfläche erhalten, wie bei manchen Versuchen erforderlich ist, so wickelt man wohl nach Hare ein langes Stück Zinkblech und ein gleich großes Stück Kupferblech, nachdem man zwischen beide ein gleich langes Stück Leder gelegt hat, spiralförmig zusammen, wornach man das letztere wieder herausnimmt. Um die Berührung der beiden Metallbleche zu verhindern, werden oben und unten Holzstäbchen mit Einschnitten befestigt, in welche die Ränder der Metalle eingeklemmt werden können. Die so vorgerichteten Metalle bringt man nun in einen mit verdünnter Schwefelsäure zum Theil gefüllten Glascylinder; und wenn man diese einfache Kette schließen will, so setzt man die Metalle durch einen Kupferdraht in eine leitende Gemeinschaft mit einander. Einen solchen großplattigen Apparat, den man früher vielfach zu galvanischen Glühversuchen (Galvanismus, S. 319 ff.) benutzte, nennt man wohl auch Hare's Calorimotor.

Die Wirkung der eben beschriebenen einfachen Ketten nimmt ziemlich schnell ab, namentlich wegen des Einflusses der durch den elektrolytischen Proceß bedingten Polarisation der Metallplatten (s. Art. Galvanismus, Bd. III. S. 350 ff.), obwohl, wie Poggendorff *) gezeigt hat, die Zink-Kupferkette sowohl eine Verstärkung als auch eine längere Dauer sich gleichbleibender Wirksamkeit erhalten kann, wenn man die Kupferplatten vorher an der Luft so lange erhitzt, bis die anfänglich entstehenden Farben verschwinden, oder wenn man sie in Salpetersäure taucht und dann rasch in Wasser abspült.

Die Schwächung des elektrischen Stromes durch die elektrische Polarisation der negativen Erregerplatte findet nicht so statt bei den sogenannten constanten Ketten, deren Wirkung sich also auf längere Zeit constant erhält. Es gehören hierher die constanten Ketten von Daniell, Becquerel, Grove und Bunsen. Bei ihnen werden statt einer Flüssigkeit zwei verschiedenartige Flüssigkeiten, von denen jede mit einem besonderen Metall in Berührung ist, verwendet.

Die Daniell'sche Kette **) bestand anfänglich aus einer Zinkstange in einer Thierblase (oder Ochsengurgel), die mit verdünnter Schwefelsäure angefüllt und in einen mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol gefüllten Kupfercylinder gesenkt war. Durch die Blase wird die Berührung beider Flüssigkeiten nicht verhindert, wohl aber ihre baldige vollkommene Vermischung. — Bei der Becquerel'schen Kette ist ein hohler Cylinder von Kupferblech, der mit etwas Sand beschwert ist, von einer thierischen Blase umgeben und der Raum zwischen

*) Ann. Bd. LI. S. 384.
**) Phil. Trans. 1836. P. I. p. 107. Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 272.

der letzteren und dem Cylinder mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt. Die Blase ist aber von einem hohlen Zinkcylinder umgeben, welcher der Länge nach aufgeschlitzt ist, um ihn nach Willkür enger und weiter machen zu können. Das Ganze befindet sich in einem Cylinder von Glas oder Porzellan, welcher mit verdünnter Schwefelsäure oder einer Lösung von Zinkvitriol oder einer Kochsalzlösung gefüllt ist. — Man schreibt die Erfindung der constanten Zink-Kupferkette Becquerel insofern zu, als dieser zuerst die beiden flüssigen Erreger durch eine poröse Membran von einander trennte *). Doch hat Daniell seine Zink-Kupferkette zuerst unter dem Namen einer constanten Kette beschrieben. Allein schon Wach **) wandte im Jahre 1830 Zink in verdünnter Schwefelsäure und Kupfer in Kupfervitriollösung dergestalt an, daß er diese beiden Flüssigkeiten durch eine Thierblase von einander trennte.

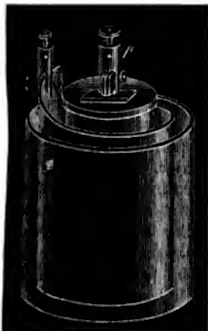
Man hat nun die Daniell'sche Kette auch in der Weise abgeändert, daß man ein Glasgefäß mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol (schwefelsaures Kupferoxyd) in Wasser füllt und in diese einen hohlen, offenen Cylinder von Kupferblech bringt. Alsdann füllt man zum Theil einen porösen Thoncylinder mit verdünnter Schwefelsäure, taucht in diese einen hohlen, offenen und amalgamirten Zinkcylinder, und stellt nun den ersteren in die Vitriollösung, so daß derselbe von dem Kupfercylinder umgeben ist. Sowohl an den letzteren als auch an den Zinkcylinder ist ein Kupferdraht gelöthet, wodurch die Kette geschlossen werden kann. Um die Kupfervitriollösung im Zustande der Sättigung zu erhalten, muß man entweder zu Anfang einen Ueberschuß von Kupfervitriol beigeben oder vom letzteren von Zeit zu Zeit einige Stücke in das Glasgefäß thun, oder es wird auch ein leinenes Säckchen mit Kupfervitriolkrystallen in die Vitriollösung gehängt. Durch die chemische Thätigkeit des elektrischen Stromes schlägt sich an der Kupferplatte metallisches Kupfer aus der Vitriollösung nieder, während sich ein Theil des Zinks oxydirt und mit der Schwefelsäure verbindet; der frei werdende Wasserstoff verbindet sich aber sofort mit dem aus dem Kupfervitriol ausgeschiedenen Sauerstoff.

Spencer ***) wählte statt des Kupfers dünnes Blei, aus welchem er einen faltigen Cylinder bildete, den er in die Kupfervitriollösung brachte, während sonst alles unverändert wie bei der Daniell'schen Kette verblieb. Durch Schließung der Kette entstand dann allmälig ein Kupfercylinder, indem sich das Blei mit dem ausgeschiedenen Kupfer überzog.

Die so wirksame Grove'sche Kette ****) besteht aus amalgamirtem Zink und Platin, von denen das erstere in verdünnte Schwefelsäure, das letztere in concentrirte Salpetersäure taucht. Ein Zinkcylinder steht nämlich in jener Säure, die in ein Glasgefäß gefüllt ist, und umgiebt einen porösen Thoncylinder mit Salpetersäure, in welche ein dünnes umgebogenes Platinblech herabreicht. Die hervorragenden Theile des Zinks z und Platins p (s. umstehende Figur) sind mit Klemmschrauben versehen, mittelst deren die Enden des Schließungsdrahtes be-

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLI. p. 20.
**) Schweigg. Journ. Bd. LVIII. S. 20.
***) Pogg. Ann. Bd. LI. S. 374 ff.
****) Compt. rend. T. VII. p. 567. Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 300; Bd. XLIX. S. 511.

festigt werden können. Der durch den elektrischen Strom ausgeschiedene Wasserstoff kann hier keine positive elektrische Polarisation der Platinplatte und deshalb auch keinen hierdurch bedingten, dem primären entgegengesetzten secundären Strom veranlassen, da sich derselbe sofort mit dem einen Theil des Sauerstoffes der Salpetersäure verbindet, wodurch diese in salpetrige Säure übergeht. Um das Aufsteigen der letzteren zu verhindern, bringt man wohl auf dem Thoncylinder einen Deckel an. Die Salpetersäure nimmt man zu etwa 1,3 spec. Gewicht, oder man gebraucht auch eine Mischung aus 3 Theilen Salpetersäure und 1 Th. Schwefelsäure, und als Flüssigkeit für das Zink in dem Glasgefäße verdünnte Schwefelsäure mit etwa 90 Proc. Wasser. — Hat man die Kette gebraucht, so spült man das Platinblech in reinem Wasser ab, läßt den Thoncylinder eine Zeit lang in solchem Wasser liegen und trocknet sie dann im Schatten. Auch den Zinkcylinder spült man rein ab, den man überdies bei häufigem Gebrauch der Kette von Zeit zu Zeit frisch amalgamiren muß.



Nach vergleichenden Versuchen, welche Jacobi zwischen der Zink-Kupfer- und Zink-Platinkette angestellt hat, ergiebt sich, daß 6 Quadratzoll Platinfläche genügen, um eine Kette mit 100 Quadratzoll Kupfer zu ersetzen.

Smee *) suchte das Platin durch platinirtes Silber zu ersetzen, Callan **) vortheilhafter durch platinirte Bleiplatten (s. Art. Galvanoplastik). Statt der reinen Salpetersäure wendet man aber nach Letzterem ein Gemisch von 4 Gewichtstheilen concentrirter Schwefelsäure, 2 Theilen Salpetersäure und 2 Theilen gesättigter Salpeterlösung an, wo dann auch verdünntere, sonst nicht mehr brauchbare Salpetersäure verwendet werden kann. Einem solchen Gemisch kommt größere Leitungsfähigkeit zu. — Oersted brachte Porzellangefäße, mit einem dünnen Ueberzuge von Platin versehen, in Vorschlag. Diesen Platinüberzug erhält man dadurch, daß man die Porzellancylinder mit einer verdünnten Auflösung von Chlorplatin bedeckt und sie dann glüht.

Der Grove'schen Kette an Wirksamkeit gleich stehend, aber viel wohlfeiler ist die Zink-Kohlenkette von R. Bunsen. Die Kohle war zwar schon seit Volta, wie man weiß, als der kräftigste negativ elektrische Erreger bekannt; auch construirte Cooper eine Kette nach Art der Grove'schen, in welcher das Platin durch Kohle ersetzt war ***), aber erst durch Bunsen wurde eine geeignete Bereitungsweise der Kohle zu diesem Zwecke und eine passende Form der Zink-Kohlenkette angegeben.

In ein Glasgefäß, welches sich oben etwas verengt, wird ein hohler, unten offener Kohlencylinder gestellt, dessen oberer Theil so geformt ist, daß er bequem

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. 103. T. XVI. p. 315.
**) Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXXI. p. 81.
***) Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 589.

auf dem Rande jenes Gefäßes ruhen kann (s. beistehende Figur). Innerhalb des Kohlencylinders befindet sich ein unten geschlossener Cylinder von porösem Thon, dessen Wandung unbedeutend von der des ersteren absteht. Diese Thonzelle wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, während das Glasgefäß so viel concentrirte Salpetersäure enthält, daß sie, wenn man den Thoncylinder hineinstellt, bis oben an den Rand aufsteigt. In die Schwefelsäure der Thonzelle wird endlich ein hohler amalgamirter Zinkcylinder eingesenkt, der, wenn die Kette geschlossen werden soll, durch einen Draht mit einem den oberen Rand des Kohlencylinders umschließenden Zink- oder Kupferring in Verbindung gesetzt wird. Der aus dem Glase hervorragende Rand des Kohlencylinders ist überdies mit Wachs getränkt, damit die Salpetersäure nicht an und in ihm aufsteige.



Die Kohle zu diesem Apparate bereitet man aus einem Gemenge von 1 Theil pulverisirten Coaks und 2 Th. Steinkohle. Um den Cylinder selbst zu erhalten, wird das Gemenge in den ringförmigen Raum zwischen einer Blechform und einer hineingestellten Holzschachtel gefüllt und dann bei einem mäßigen Kohlenfeuer ausgeglüht. Zeigt sich die Masse nach dem Glühen zerreiblich, so muß noch ein Zusatz von Steinkohle erfolgen; zeigt sie sich aber zerklüftet, so setzt man mehr Coaks zu. Dem so erhaltenen Cylinder giebt man durch eine rauhe Feile die gehörige Form und taucht ihn dann, damit er eine hinreichende Härte und Dichte erhalte, in eine concentrirte Lösung von Zuckerabfällen. Darauf wird er getrocknet und in einem mit Kohlenstücken ausgefüllten, bedeckten feuerfesten Gefäße der mehrstündigen Einwirkung einer starken Weißglühhitze in einem Töpferofen ausgesetzt. Nach dieser Behandlung wird der Cylinder auf der Drehbank gehörig abgerundet und sein oberes Ende conisch abgedreht *).

Man hat die Zink-Kohlenkette auch dahin abgeändert, daß man die Salpetersäure und den Kohlencylinder in einen Thoncylinder bringt, während das Glasgefäß mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt und in diese ein amalgamirter Zinkcylinder gestellt wird, so daß der letztere die Thonzelle umschließt.

W. Eisenlohr **) empfiehlt eine Kette, die mehrere Monate lang constant wirkt, zwar keinen starken Strom giebt, aber doch zu manchen Zwecken sehr nützlich ist. Dieselbe wird dadurch erhalten, daß man den Thoncylinder einer Zink-Kupfer- (Daniell'schen) Kette mit Wasser und reinem Weinstein im Ueberschusse füllt, und das Kupfer in eine Mischung aus 5 Raumtheilen engl. Schwefelsäure und 100 Theilen Wasser stellt. Im Thoncylinder hängt noch ein Säckchen mit Weinstein, während ein umgestürztes, mit Wasser gefülltes Arzneiglas das in ihm verdunstete Wasser ersetzt. Eine andere Kette, die bei beständiger Schließung lange Zeit constant bleibt, aber bei abwechselndem Schließen und Oeffnen nicht so lange als jene, erhält man nach Eisenlohr, wenn nebst dem Weinstein statt der verdünnten Schwefelsäure eine aus gleichen Theilen gesättigter Kupfervitriollösung und reinen Wassers zusammengesetzte Mischung genommen wird.

Eine jede der bisher beschriebenen einfachen Ketten kann man nun, wenn dieselbe in mehreren gleichartigen Exemplaren vorhanden ist, zur Construction

*) Pogg. Ann. Bd. LV. S. 265.

**) Lehrbuch der Physik, 1852. S. 509; s. auch Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 65.

einer zusammengesetzten Kette verwenden, was sehr leicht dadurch geschieht, daß man der Reihe nach das positiv elektrische Zink der einen Kette mit dem negativen Gliede (Kupfer, Platin, Kohle) der nächstfolgenden Kette durch einen Metalldraht in eine gut leitende Gemeinschaft setzt. Die beiden äußersten Kettenglieder, von denen das eine positiv, das andere negativ elektrisch ist, bilden dann die Pole der zusammengesetzten Kette, die man eine galvanische oder Volta'sche Säule nennt.

Die älteste zusammengesetzte Kette ist die bekannte Volta'sche Säule, die (Galvanismus, S. 315 ff.) aus einer mehr oder weniger großen Anzahl von Zink- und Kupferplatten, die man paarweise zusammenlöthen kann, und feuchten Tuch- oder Filzscheiben besteht. Diesen Metallplatten giebt man einen Durchmesser von 1 bis 6 Zoll, den Filzscheiben aber einen etwas kleineren Durchmesser. Nun legt man ein Zink-Kupferpaar, etwa mit der Zinkseite nach unten, hin, und auf die Kupferplatte eine Filzscheibe, die mit einer Lösung von Kochsalz in Essig oder von Salmiak in Wasser getränkt ist. Auf diese Scheibe legt man dann ein Zink-Kupferpaar, mit der Zinkseite wieder nach unten, und auf die Kupferseite eine Filzscheibe; und so in derselben Ordnung fort. Doch kann man natürlich auch vom Anfange an in der umgekehrten Ordnung verfahren, nämlich in allen Metallpaaren die Kupferseite nach unten hin bringen. Man baut eine solche Säule häufig zwischen zwei Glassäulen auf. Bei einer größeren Anzahl von Plattenpaaren wird die Flüssigkeit (durch den Druck der oberen Platten auf die unteren) zu stark aus den Filzscheiben herausgepreßt, so daß dann eine leitende Gemeinschaft zwischen den einzelnen einfachen Kettengliedern durch diese Flüssigkeit entsteht, was die Wirksamkeit der Säule beeinträchtigt. Um dies zu verhindern, baut man lieber, wenn die Anzahl der aufzuschichtenden Metallpaare 100 beträgt, zwei Säulen in umgekehrter Ordnung auf, die dann doch durch die metallische Verbindung ihrer Endcylinder eine der vorigen Säule vollkommen entsprechende liefern. — Verbindet man bei der Volta'schen Säule das Zinkende mit dem Kupferende durch einen Draht, so geht die sogenannte positive Elektricität von jenem zu diesem Ende.

Der Gebrauch dieser Säule ist mit mancherlei Unbequemlichkeiten verbunden; sie wird nur noch selten angewendet, und schon Volta benutzte statt ihrer nicht selten den sogenannten Becherapparat, den man erhält, wenn man eine Anzahl von Gläsern mit der betreffenden Flüssigkeit einer verdünnten Säure füllt, und in jedes Glas eine Zink- und Kupferplatte bringt, die in der Flüssigkeit in einem gewissen Abstande von einander abstehen, während jede Zinkplatte durch einen Kupferstreifen und die Kupferplatte des folgenden Glases verbunden ist. Die beiden freien Endcylinder lassen sich, um die Kette zu schließen, durch einen Metalldraht mit einander verbinden. Nach Berzelius kann man die Zinkplatte durch eine bloße Zinkkugel ersetzen, an welche ein gekrümmter Kupferdraht gelöthet ist, der am anderen Ende, welches in das nächste Glas reicht, etwas breit geschlagen ist und so die Kupferplatte vertritt.

Ein zweckmäßiger Trogapparat ist die Wollaston'sche Säule. Hier ist die Kupferplatte um die Zinkplatte so gebogen, daß sie letztere von zwei Seiten einschließt, ohne sie jedoch zu berühren. Beide Platten sind durch kleine Holzstückchen bis auf einen geringen Abstand von einander getrennt. Jede Zinkplatte steht aber mit der Kupferplatte der nächsten Zelle durch einen Kupferstreifen in metallischer Verbindung. Ein Porzellantrog, der durch Scheidewände in einzelne

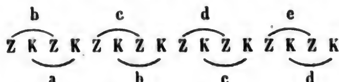
Zellen abgetheilt ist, wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. Um aber alle Metallplatten mit einem Male in die Flüssigkeit eintauchen und wieder herausnehmen zu können, sind sie sämmtlich an einer Holzleiste befestigt.

Nach Desbordeaux *) sollen die Wollaston'schen Trogapparate ihre Kraft lange, selbst mehrere Tage ungeschwächt behalten, wenn man bei ihnen als Flüssigkeit eine gesättigte Lösung von schwefelsaurem Zink, mit einem kleinen Zusatze von schwefelsaurem Kupfer und Schwefelsäure anwendet.

Hare und Faraday machten darauf aufmerksam, daß es bei dem Trogapparate nicht durchaus erforderlich sei, die einzelnen Glieder der Säule in getrennte Zellen zu bringen, sondern daß man sie auch alle, ohne den elektrischen Strom beträchtlich zu schwächen, in einen ununterbrochen mit Flüssigkeit gefüllten Trog setzen könne **). Faraday gebrauchte nun eine Zinkplatte Z und eine daran gelöthete Kupferplatte K von doppelter Länge, welche letztere, wie die nebenstehende Figur zeigt, umgebogen ist. Die Zinkplatte des folgenden Elements wird zwischen die beiden Schenkel der Kupferplatte K geschoben u. s. f. Die sonstige Berührung zwischen Zink und Kupfer wird durch eingeschobene Korkstückchen und die der Kupferplatten unter sich durch eine doppelte Lage schwarzen Pack- oder Kartenpapiers verhindert. Eine mit den oberen Biegungen der Kupferstreifen verbundene Holzleiste dient dazu, um die Metallplatten alle auf einmal in einen Trog mit gesäuertem Wasser senken und wieder herausnehmen zu können.



Eine andere, zweckmäßige Einrichtung erhielt die Säule noch durch James Young ***). Die Anordnung ist aus folgendem Schema ersichtlich:

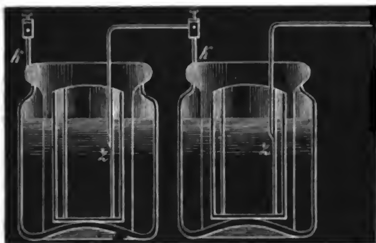


Die Zink- und Kupferplatten sind wieder sämmtlich an einem Holzrahmen befestigt. Je zwei Zink- und eben so je zwei Kupferplatten sind unter einander metallisch verbunden, wie es die Klammern in dem Schema andeuten. Diese Paare stehen nun, jedes Zinkpaar mit dem nächsten Kupferpaar, in metallischer Verbindung; so ist b mit b, c mit c xc. verbunden, während auf der einen Seite ein Kupferpaar a, auf der anderen ein Zinkpaar e frei bleibt. Die Platten stehen einander sehr nahe, und werden in einen Trog, der mit einem Gemenge verdünnter Schwefel- und Salpetersäure oder mit Kupfervitriol gefüllt ist, gesenkt. Im Falle jenes Gemenges nimmt man etwa auf 100 Theile Wasser $2^1/_2$ Th. Schwefelsäure und 2 Th. Salpetersäure. Eine Lösung von Kupfervitriol, die Warren de la Rue ****) anwandte, macht die Wirkung dieser Säule constanter.

Die oben beschriebenen einfachen constanten Ketten (von Daniell, Grove,

*) Compt. rend. T. XIX. p. 273.
**) Annals of Philosophy. T. I. p. 329. Phil. Magaz. T. LXIII. p. 241.
***) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. LXI. T. X. p. 241.
****) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. LXI. T. X. p. 244.

Bunsen) lassen sich leicht zu zusammengesetzten Ketten oder Säulen verbinden. Hat man mehrere Daniell'sche Ketten, so setzt man der Reihe nach das Zink der einen Kette vermittelst eines an dasselbe gelötheten Kupferstreifens mit dem Kupfer der nächsten Kette in Verbindung; oder man läßt auch von jedem Kupfercylinder der nächsten Kette einen Kupferstreifen ausgehen, den man durch eine Klemmschraube mit dem Kupferstreifen des Zinkcylinders verbindet. In ganz ähnlicher Weise kann man bei der Grove'schen Kette verfahren. Will man mehrere Zink-Kohlenketten mit einander zu einer Säule verbinden, so wird jeder Zinkcylinder durch einen Zinkbügel mit dem Zinkringe in Gemeinschaft gesetzt, welcher den Kohlencylinder des folgenden Glases umfaßt. Jene drei Stücke (Zinkcylinder, Zinkbügel und Zinkring) bilden gleich anfänglich ein ununterbrochenes Ganze. Man kann aber auch (s. beistehende Figur) jeden Kohlencylinder an



seinem oberen Rande mit einem Kupferringe umschließen, von dem ein aufrechtstehender starker Kupferdraht K ausgeht, der sich durch eine Klemmschraube mit einem an den Zinkcylinder Z der nächsten Kette gelötheten Kupferdrahte verbinden läßt.

Wo es sich um Erzielung bedeutender Effecte durch intensive und constante elektrische Ströme handelt, da wendet man jetzt vorzugsweise die Zink-Kohlensäule an. Doch wird sie, gleich der Grove'schen Säule, durch die bei ihrem Gebrauche sich entwickelnde salpetrige Säure lästig, ein Uebelstand, der sehr erträglich wird, wenn man dieselbe in einem durch einen Deckel verschließbaren Kasten aufstellt, der nur mit einigen Löchern zur Durchleitung der Poldrähte versehen ist. Auch ist es rathsam, diese Säule in einem besonderen, von sonstigen physikalischen Apparaten getrennten Locale aufzubewahren, da die salpetrige Säure sich nur sehr langsam aus der porösen Kohle vollständig entfernt.

Bei den Zink-Platinketten wendet man wohl zuweilen, um den Geruch nach salpetriger Säure zu vermeiden, statt der reinen Salpetersäure, freilich auf Kosten der Stärke und constanten Wirkung des Stromes, ein Gemisch von 3 Gewichtstheilen saurem chromsauren Kali, 4 Th. concentrirter Schwefelsäure und 18 Th. Wasser an *).

Durch Verbindung einer größeren Anzahl Callan'scher Ketten (S. 651)

*) Vergl. Poggendorff in dessen Ann. Bd. LVII. S. 101.

erhält man gleichfalls eine sehr wirksame Säule. Callan verband einmal 577 solcher Ketten mit einander *).

Zum Gebrauche für Telegraphen empfiehlt Eisenlohr auch die oben S. 652 erwähnte Kette, deren mehrere auf die angegebene Weise zu einer Säule mit einander verbunden werden können. Zu demselben und für andere technische Zwecke erhält man nach ihm schon eine brauchbare und in England bei Telegraphen auch häufig angewandte Säule, wenn man Zink- und Kupferplatten in Gläser oder Glaströge stellt und diese fest mit Sand ausfüllt, der mit 8 Theilen Wasser und 1 Theil Schwefelsäure befeuchtet ist. — Zur Construction einer Säule von langer, obschon geringer Wirksamkeit, bildete P. Bagration **) in der Art Ketten, daß er einen wasserdichten Topf mit Erde füllte, diese mit concentrirter Salmiaklösung oder Chlorammoniak bis zur Sättigung tränkte, und eine Kupfer- und Zinkplatte hineinsenkte. Die Säule blieb Monate lang wirksam. Das verdunstende Wasser und die nach und nach zerstörte Zinkplatte mußten natürlich ersetzt werden.

Auf sehr vielen Telegraphenlinien macht man gegenwärtig von einer Säule Anwendung, deren Elemente aus Bunsen'schen Kohlencylindern und amalgamirtem Zink bestehen, in der Art, daß diese beiden Elektricitätserreger durch mattgebrannte Thonzellen von einander getrennt in verdünnter Schwefelsäure stehen. R. Böttger ***) bemerkt nun bezüglich dieser Säule, daß sie bei längerer Schließung schon nach wenigen Tagen einen auffallenden Geruch nach Schwefelwasserstoffgas und gleichzeitig eine ungemeine Schwächung des Stromes zu erkennen gebe, was auch der Fall sei bei Anwendung reiner Coaksstücke oder auch der sogenannten Gaskohle (der in den Gasretorten sich ablagernden steinharten Kohle) zu den Cylindern. Dagegen erwies sich eine nur mit 5 Proc. Schwefelsäure haltigem Wasser erregte Kette, deren Kohlencylinder zuvor in concentrirte Salpetersäure eingetaucht und dann an der Luft etwa $1/2$ Tag stehen gelassen worden waren, lange Zeit hindurch sehr wirksam, und vermochte Böttger bei so behandelten Kohlen oder Coaks in der geschlossenen Kette niemals eine Entwickelung von Schwefelwasserstoffgas wahrzunehmen.

Die bisher betrachteten zusammengesetzten Ketten wurden also sämmtlich dadurch erhalten, daß man das positiv elektrische Glied (Zink) einer Kette mit dem negativ elektrischen Gliede (Kupfer, Platin, Kohle ꝛc.) der nächsten Kette metallisch verbindet. Eine so erhaltene galvanische Säule nennt man wohl nicht selten auch eine galvanische oder Volta'sche Batterie. Man kann aber auch eine größere Anzahl einfacher Ketten derselben Art so mit einander verbinden, daß man die gleichnamigen elektrischen Glieder, nämlich alle Zinkplatten und eben so alle negativen Glieder (Kupfer, oder Platin, oder Kohle ꝛc.) unter sich in leitende Gemeinschaft setzt. Eine so zusammengesetzte Kette wirkt dann nahezu in gleicher Weise wie eine gewöhnliche einfache Kette von derselben Oberflächengröße, und ist da von Vortheil, wo es, wie man zu sagen pflegt, auf eine große Menge Elektricität von geringer Spannung ankommt. Diese beiden verschiedenartigen Verbindungsweisen

*) Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXXIII. p. 49. Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 128. Dingler's polytechn. Journ. Bd. CIX. S. 432.
**) L'Institut. XIIme Ann. N. 350. p. 65.
***) Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 233.

mehrerer einfacher Ketten derselben Art kann man nun füglich durch die Ausdrücke „Säule" und „Batterie" von einander unterscheiden, und zwar so, daß man das Wort Batterie, — nach Analogie mit der elektrischen (Leidner) Batterie, die man erhält, wenn man bei mehreren Leidner Flaschen alle äußeren und alle inneren Belege derselben unter sich verbindet, — für die zuletzt erwähnte Verbindungsweise mehrerer einfacher galvanischer Ketten in Anspruch nimmt, während man durch das Wort Säule eine zusammengesetzte Kette bezeichnet, die in der angegebenen Weise aus einer größeren oder geringeren Anzahl einfacher Ketten durch die leitende Verbindung ihrer ungleichnamigen Glieder hergestellt ist. Diese Unterscheidung zwischen galvanischer Batterie und Säule ist meines Wissens zuerst von Dove in Vorschlag gebracht oder doch von ihm ausdrücklicher irgendwo hervorgehoben worden. Zugleich bemerken wir hier noch, daß man eine einfache galvanische Kette in Bezug auf die Säule, zu deren Construction sie verwendet wird, ein galvanisches (resp. Daniell'sches, Grove'sches, Bunsen'sches rc.) Element zu nennen pflegt.

Das Eisen hat man ebenfalls zu galvanischen Combinationen verwendet. A. Fyfe *) construirte eine Kette aus Eisenblech und Kupfer, die mit Kupfervitriollösung einen starken, mit verdünnter Schwefelsäure aber nur einen schwachen Strom gab. M. J. Robert **) combinirte Eisen mit Zink, und fand beide wirksamer als Kupfer und Zink. Diese Zink-Eisenkette wurde hiernach von Poggendorff***) unter Anwendung verschiedener Flüssigkeiten, als verdünnter Schwefel- und Salpetersäure, Kochsalzlösung, Aetzkalilauge rc. genauer untersucht und mit der einen oder anderen von diesen Flüssigkeiten sehr wirksam befunden, nicht aber, wenn man nach Art der Daniell'schen Kette das Zink mit verdünnter Schwefelsäure und das Eisen mit einer Eisenvitriollösung umgiebt.

Auch hat man, wie dies namentlich von Sturgeon ****) geschehen ist, Säulen aus Eisen und Zink gebildet. Dieselben bestehen aus hohlen gußeisernen Cylindern (von etwa 10" Höhe und 3" Durchmesser), an welche ein starker Kupfer- oder Messingdraht gelöthet ist, der einen amalgamirten Zinkcylinder trägt, welcher in den nächsten gußeisernen Cylinder, ohne diesen zu berühren, herabhängt. Die Cylinder füllt man mit einer Mischung aus 8 Theilen Wasser auf 1 Th. Schwefelsäure. Damit das während der Thätigkeit der Säule sich entwickelnde Wasserstoffgas nicht lästig werde, kann man sie in einen Kasten stellen, der mit einer Abzugsröhre versehen ist, und wohl auch noch eine Vorrichtung anbringen, um das Gas an der Ausflußmündung zu verbrennen.

Eine dieser ähnliche Säule hat Callan *****) neuerdings als eine sehr wohlfeile und stark wirkende empfohlen. Gußeisen und amalgamirtes Zink dienen gleichfalls als Erreger, jenes als negativer, dieses als positiver. Als beste Flüssigkeit wird angegeben concentrirte Schwefelsäure mit $3^3/_4$fachem Volumen starker Kochsalzlösung (2 Pfd. Salz und 10 Pfd. Wasser) gemischt. Je näher die Metalle einander stehen, desto stärker ist die Wirkung der Säule, wenn nur der sich

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. 66. T. XI. p. 150.
**) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. 101. T. XVI. p. 152.
***) Ann. Bd. L. S. 255; Bd. LIII. S. 436.
****) Ann. of Electricity. T. V. p. 66. Pogg. Ann. Bd. LI. S. 372. 380.
*****) Phil. Mag. Vol. IX. p. 260.

entwickelnde Wasserstoff gehörig entweichen kann, um der Flüssigkeit eine ununterbrochene Berührung mit den Metallen zu gestatten. Wendet man Zinkplatten von 4 □'' an, so darf man diesen das Gußeisen bis auf $^1/_{50}$'' nähern. Derjenige Theil des Gußeisens, der zur Hervorrufung des Stromes wenig oder nichts beiträgt, muß gegen den Angriff der Flüssigkeit durch vulkanisirten Kautschuk, Holz und dergleichen geschützt werden. Nun kann man dem Gußeisen entweder die Form von Zellen geben, in welche man die leitende Flüssigkeit bringt, oder auch die von Platten, von denen je zwei mit einander verbunden sind, zwischen welche man dann die Zinkplatte einschiebt. Die letztere ist $^1/_8$'' dick, und die Entfernung zwischen den Gußeisenplatten beträgt $^1/_4$ oder $^1/_5$''. Die Berührung der beiden Metalle kann durch einen kleinen Holzkeil an jeder Ecke verhindert werden. Die Zellen von Gußeisen müssen 1 bis $1^1/_2$'' höher sein als die Zinkplatten; und die Weite des Raumes, in den die Zinkplatte kommt, darf $^1/_4$'' nicht übersteigen. Der Raum über der Zinkplatte ist aber $1^1/_2$'' weit, damit er eine gehörige Menge von Flüssigkeit faßt, weil in dem engen Raume unten so wenig davon enthalten, daß ihre erregende Wirkung in wenigen Minuten erschöpft ist. Befestigt man 10 oder 12 Plattenpaare, bei denen die Außenseiten der Eisenplatten geschützt werden, in ähnlicher Weise wie die Platten der Wollaston'schen Säule an einer gemeinsamen Leiste oder Stange, so kann man sie alle mit einem Male in einen Trog von Wedgwoodmasse bringen, welcher die Flüssigkeit enthält, und sie nach dem Gebrauche der Säule wieder gleichzeitig herausnehmen. — Eine solche Säule von 48 Zellen, zu deren Füllung 8 Pfund Schwefelsäure verwendet wurden, und bei welcher die Entfernung von Zink und Eisen nahe $^1/_8$'' betrug, gab mindestens $3^1/_2$ bis 4 Stunden hindurch ein glänzendes Kohlenlicht.

Als Poggendorff *) das elektromotorische Verhalten des Eisens genauer untersuchte, combinirte er dasselbe auch mit anderen Metallen unter Anwendung zweier verschiedener Flüssigkeiten, die durch ein poröses Gefäß von einander getrennt waren. Als Flüssigkeiten gebrauchte er verdünnte Schwefelsäure (12 Th. auf 1 Th. Säure) und reine Salpetersäure von 1,19 spec. Gewicht.

Mit diesen Flüssigkeiten untersuchte er unter anderen eine Kette aus Eisen-Platin. Hiernach wurden denn auch Ketten aus Eisen und zwei Flüssigkeiten gebildet, indem man einen eisernen Cylinder mit verdünnter Schwefelsäure füllte, welcher einen porösen Thoncylinder mit concentrirter Salpetersäure aufnahm. Ein in die letztere gesenkter massiver Eisencylinder wurde in derselben passiv und hierdurch das negative Glied der Kette, deren positives jener mit Schwefelsäure gefüllte Eisencylinder war. Die umgekehrte Anordnung befolgte Schönbein **), indem er einen 10 Zoll hohen, 3 Zoll 9 Linien weiten Cylinder von Gußeisen mit einem Gemisch von 3 Th. concentrirter Salpetersäure und 1 Th. gewöhnlicher Schwefelsäure füllte, in diesen einen Thoncylinder mit Schwefelsäure, die mit dem 12fachen ihres Volumens Wasser verdünnt war, senkte und in den letzteren einen gußeisernen Cylinder von 9 Zoll 9 Lin. Höhe und 3 Zoll 3 Linien Durchmesser brachte. Schönbein ersetzte auch den gußeisernen Cylinder durch amalgamirtes Zink, und erhielt durch Verbindung von

*) Ann. Bd. LIII. S. 442.

**) Archives d'Electricité. 1842; notice sur une nouvelle pile voltaique.

fünf solchen Elementen eine Säule, die 2400 Cubikzoll Knallgas in einer Stunde gab *).

Lecassagne und Thiers construirten eine Kette aus zwei concentrischen Tiegeln, von denen der innere porös war und ein trocknes Aluminiumsalz nebst einem Kohlencylinder enthielt, während in den äußeren Tiegel Chlornatrium und ein hohler den inneren Tiegel umschließender Cylinder aus Eisenblech gebracht wurde. Ein solches Element erhitzte man in einem Ofen so lange, bis die Salze schmolzen, und setzte dann das Eisen und die Kohle durch einen Leiter in Gemeinschaft. Es zeigte sich ein starker elektrischer Strom, durch dessen Thätigkeit Aluminium an der Kohle ausgeschieden wurde **).

Wir bemerken bei dieser Gelegenheit, daß das Aluminium nach Hulot ein kräftiger negativer Elektromotor ist. Ein galvanisches Element aus Aluminium und amalgamirtem Zink giebt mit verdünnter Schwefelsäure einen Strom, der wenigstens eben so stark ist, wie der eines gleichen Platin-Zink-Elements mit derselben Flüssigkeit. Nach 6 Stunden hatte der Strom $1/_5$ seiner ursprünglichen Stärke verloren, nach 24 Stunden besaß er noch $1/_4$ derselben. Taucht man dann das Aluminium eine Secunde lang in Salpetersäure und wischt es ab, so verschwindet die Polarisation, und dasselbe hat wieder die ursprünglichen negativen Eigenschaften. Man glaubt das Aluminium durch Aetzen mit Salzsäure, wodurch es, namentlich wenn es gewalzt wird, eine rauhe Oberfläche erhält, noch wirksamer machen zu können ***).

Man hat auch nach Kemp Säulen construirt, bei denen der positive Elektromotor aus einem Amalgam, und die Flüssigkeit aus einer Salzlösung des negativen Elektromotors besteht. So änderte Wheatstone ****) die Daniell'sche Kette in der Weise ab, daß er die poröse Zelle anstatt der Schwefelsäure mit flüssigem Zinkamalgam füllt, in welches das Kupferende des nächstfolgenden Elements eintaucht. Eine solche Kette zeigte sich zwar sehr constant, aber nicht zugleich auch stark. Kemp versuchte noch folgende Ketten, bei denen das Amalgam ebenfalls in ein poröses Gefäß gefüllt war, das in einem Gefäße mit der Flüssigkeit stand, in welcher das negative Metall (in der Form eines gebogenen Bleches) befindlich war.

Zinkamalgam	Kupfervitriollösung	Kupfer
"	Chlorplatinlösung	Platin
Kaliumamalgam	Zinkvitriollösung	Zink
"	Kupfervitriollösung	Kupfer
"	Chlorplatinlösung	Platin.

Die Spannung der freien Elektricität an den Polen einer galvanischen Säule ist, selbst wenn auch zu ihrer Construction die kräftigste Kette verwendet wird, nur von geringer Größe, die jedoch mit der Anzahl der einfachen Ketten oder Elemente, die mit einander zur Säule verbunden werden, zunimmt. Am stärksten

*) Ueber amalgamirtes Eisen und dessen Verhalten in der galvanischen Kette vergleiche die Bemerkungen von Münnich in Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 361.

**) Moigno, Cosmos. T. VIII. p. 253. Pogg. Ann. Bd. XCVIII. S. 306.

***) Compt. rend. T. XL p. 1148.

****) Phil. Trans. 1843. P. II. Ann. de Chim. et de Phys. 3me Ser. T. X. p. 257. Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 511.

tritt diese elektrische Spannung hervor, wenn man bei einer großen Anzahl verbundener Elemente die letzteren in besondere Glaszellen stellt, die selbst wieder durch eine Unterlage von Glas isolirt sind. Gassiot *) baute eine Säule aus 3520 Paaren Kupfercylindern und Zinkstäben; jedes Paar wurde in einen mit Firniß überzogenen und mit Brunnen- oder Regenwasser gefüllten Glasbecher gestellt, und jeder Zinkstab mit dem Kupfercylinder des nächsten Glases in bekannter Weise verbunden. Diese Säule zeigte sehr bedeutende Spannungserscheinungen, so daß eine Leidner Flasche oder Batterie mit Leichtigkeit dadurch geladen, und bei einer Entfernung von $^1/_{50}$ Zoll der genäherten Poldrähte ein ununterbrochener Strom überschlagender Funken erhalten werden konnte. Ungeachtet der so merklichen Spannung der Elektricität an den Polen gab diese Säule im ungeschlossenen Zustande keine chemische Thätigkeit zu erkennen.

Von den galvanischen Ketten, die aus zwei Flüssigkeiten und einem Metall bestehen, ist eine bereits in Erwähnung gebracht (S. 658), die aus Eisen in Schwefelsäure und concentrirter Salpetersäure gebildet ist. Als die erste hierher gehörige Kette kann die Becquerel'sche betrachtet werden. Becquerel **) füllte eine 5 bis 6 Millimeter weite Glasröhre, die unten durch einen mit Aetzkali oder Aetznatron erweichten Thonpropf verstopft war, mit einem dieser Alkalien, senkte sie in ein Glas mit concentrirter Salpetersäure, tauchte in die Röhre und das Glas einen Platindraht, und verband beide Platindrähte an ihren oberen Enden. An dem in der Aetzlauge stehenden Draht zeigte sich eine ziemlich lebhafte Entwickelung von Sauerstoffgas, während am negativen Wasserstoff auftrat, der die Salpetersäure desoxydirte und in salpetrige Säure verwandelte. Später gab Becquerel ***) dieser Kette noch eine etwas andere Einrichtung, um sie wirksamer zu machen. Zwei Platinröhren wurden an ihrem einen Ende gekrümmt; die eine füllte er mit Thon, der mit Salpetersäure getränkt, die andere mit solchem, der mit einer Kalilösung getränkt war. Beide Röhren wurden durch eine gekrümmte Glasröhre, die mit feinem in Kochsalzlösung getränktem Thon gefüllt war, verbunden. Die unteren Enden der Platinröhren wurden mit stark durchlöcherten Platindeckeln geschlossen. Alsdann tauchte Becquerel die Röhre, welche den mit Salpetersäure getränkten Thon enthielt, in Salpetersäure, die andere in Kalilösung. Platindrähte, welche um die Enden der eingetauchten Röhren gewunden sind, leiteten den elektrischen Strom. Mehrere Apparate dieser Art mit einander verbunden gaben eine Säule von stärkerer und constanter Wirkung. — Wir bemerken hier beiläufig, daß die Wirkung der Becquerel'schen Kette nach der Contacttheorie genügend erklärt werden kann, wie denn auch im Art. Galvanismus zur Sprache gekommen ist, daß ein und dasselbe Metall durch Berührung mit verschiedenen Flüssigkeiten durch diese zu einer bedeutenden elektromotorischen Differenz erregt werden kann ****). Als eine hierher gehörige

---

*) Phil. Trans. 1844. P. I. p. 21. Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. 166. T. XXV. p. 285. Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 476.

**) Bibl. univ. T. LX. p. 215. Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 429.

***) Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 307. Compt. rend. T. IV.

****) Bezüglich der Becquerel'schen Säule ist zu vergleichen Fechner in Pogg. Ann. Bd XLVIII. S. 1 u. 225. Lehrb. des Galv. u. der Elektrochemie, 1829. S. 430 ff.; auch Jacobi in Pogg. Ann. Bd. XL. S. 67. Lenz ebenda Bd. XLVII. S. 590.

Voltaische Combination erwähnen wir noch (+) Gold, Salzsäure, concentrirte Salpetersäure, Platin (—) *).

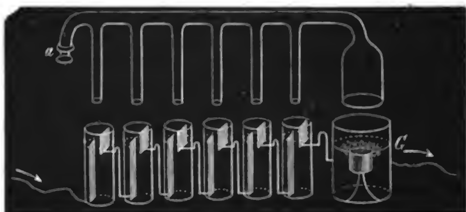
Auch aus einem Metalle und einer Flüssigkeit lassen sich galvanische Ketten bilden, und wir haben schon im Art. Galvanismus hervorgehoben, daß selbst dem Anscheine nach ganz gleichartige Metalle, wenn sie in eine Flüssigkeit getaucht und durch den Draht eines Galvanometers mit einander verbunden werden, häufig einen Strom von kurzer Dauer geben. Die Bedingung zu demselben ist gegeben, sobald Platten oder Drähte aus einerlei Metall auf ihrer Oberfläche nicht in demselben Zustande von Reinheit sich befinden. Solche elektrische Strömungen können selbst dann entstehen, wenn man wirklich gleichbeschaffene Metalldrähte nach einander in dieselbe Flüssigkeit taucht und sie hierauf zu einer Kette schließt. H. Schröder **) stellte in dieser Beziehung eine Reihe von Versuchen an, wobei er sich eines empfindlichen Galvanometers von 4500 Windungen bediente. Ein Glasgefäß war mit destillirtem Wasser gefüllt, in welches die betreffenden Drähte in einem gewissen Abstande von einander getaucht wurden. Der später eingetauchte Draht war, um thermische Einflüsse zu vermeiden, durch einen Kork gesteckt, an dem er angefaßt wurde. Die Reinigung der Drähte geschah durch Schmirgelpapier. Zunächst wurden Platindrähte, dann auch andere untersucht. Nach diesen Versuchen wird der zuerst eingetauchte Draht durch den Einfluß des Wassers elektrisch negativer, was einem an dem Drahte haftenden und durch das frühere Eintauchen veranlaßten Ueberzuge zugeschrieben werden kann. Bei den edlen Metallen beschränkte sich die Wirkung des Wassers auf die Bildung dieses Ueberzuges. Eisen, Blei rc. erscheinen beim ersten Eintauchen negativer, als später; der Ueberzug verschwindet und bildet sich von Neuem bei fortschreitender Einwirkung. Andere Flüssigkeiten als destillirtes Wasser zeigen analoge Erscheinungen, die jedoch durch chemische Einflüsse vielfach und stark modificirt werden ***).

Hierher läßt sich auch die bekannte sogenannte zwei-elementige Säule von Zamboni rechnen, die gleichfalls aus einer Flüssigkeit und einem Metall besteht, das jedoch mit seinen Enden die Flüssigkeit in ungleich großen Flächen berührt. Zamboni stellte in einem Kreise eine größere Anzahl von Glasgefäßen (runden Uhrgläsern) auf und füllte sie alle bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser. Alsdann schnitt er aus Stanniol, der auf beiden Seiten glatt polirt war, Vierecke von ½ Zoll Seite, von denen jedes in einen feinen 2 bis 3 Zoll langen Streifen auslief. Hierauf legte er in jedes Glas eines dieser Stanniolblätter so hinein, daß das Viereck sich ganz in der Flüssigkeit befand, der schmale Streifen aber über den Rand dieses und des nächstfolgenden Glases hinüber reichte und mit seiner feinen Spitze das Wasser des nächsten Glases berührte. Verbindet man das Wasser im ersten und letzten Gefäße durch einen Metalldraht, so geht der positiv elektrische Zustand von den Spitzen, der negative von den Vierecken der Stanniolblätter aus.

Da durch die Berührung von Metallen mit Gasen gleichfalls eine elektrische Differenz oder ein sogenanntes elektromotorisches Verhältniß begründet wird (Art. Galvanismus, S. 313), so kann auch aus einem Metall, namentlich Platin,

*) Vergl. Jacobi in Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 207.
**) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 57.
***) Vergl. auch Ann. der Chem. u. Pharmacie. Bd. XXXIV. S. 241.

in Berührung mit verschiedenartigen Gasen eine galvanische Säule gebildet werden. Es gehört hierher die Grove'sche Gassäule *), bei der Platinplatten, von denen je zwei einander gegenüberstehen, die eine durch Wasserstoff, die andere durch Sauerstoff elektrisch erregt, in verdünnter Schwefelsäure zu einer Kette verbunden sind. Grove gab seiner Gassäule nun folgende zweckmäßige Einrichtung. Mit einer Glasröhre ist eine größere Anzahl von Glasglocken oder Glascylindern verbunden, die in eben so viele Gläser mit verdünnter Schwefelsäure getaucht werden können. In einem jeden dieser Gläser ist ein (galvanisch) platinirter Platinstreifen an einem Drahte befestigt, und diesem Streifen steht eine platinirte Platinplatte von quadratischer Form gegenüber, so daß sie zur Hälfte aus der Flüssigkeit emporragt. Dieselbe Platte, die mit der atmosphärischen Luft und also auch mit deren Sauerstoff in Berührung steht, ist mit dem Platinstreifen des nächsten Glases durch einen Draht verbunden. In dem letzten Gefäße G (rechts) liegt ein Stück Zink auf einem Träger in verdünnter Schwefelsäure (s. beisteh. Fig.). Die oben erwähnte Glasröhre wird nun so eingesenkt, daß ihre Cylinder die Platin-



streifen in den unteren Gefäßen umschließen, während die quadratische Platinplatte außerhalb dieser Cylinder bleibt; die größere Glasglocke an der Röhre kommt in das Gefäß G zu stehen, so daß sie das Zinkstück umfaßt. Alsdann wird an der Oeffnung a der Glasröhre die Luft ausgesogen, und, nachdem dies geschehen, die Oeffnung wieder geschlossen. Hiernach beginnt im Gefäße G eine Entwickelung von Wasserstoff, der allmälig alle Glaszellen füllt und sich an den schmalen Platinstreifen verdichtet, während an den breiteren Platinplatten Sauerstoff verdichtet wird. Zuletzt kommt das Zink im Gefäße außer Berührung mit der Schwefelsäure. Sobald die Säule geschlossen ist und der elektrische Strom circulirt, verschwinden nach und nach Sauer- und Wasserstoff nahezu im Verhältnisse ihrer Aequivalente, und wenn der Wasserstoff verschwindet, kommt auch das Zink im Gefäße G wieder mit der Schwefelsäure in Berührung, so daß in Folge der Zersetzung des Zinks eine neue Gasentwickelung stattfindet. Dieses Zink ist nach einiger Zeit zu ersetzen, so wie auch dann und wann das verdunstete Wasser in den Glaszellen.

---

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. XIV. p. 129; T. XXI. p. 417. 375; T. XXIV. p. 268. 422. Ann. de Chim. et de Phys. 3me Ser. T. VIII. p. 246. Archives de l'Electricité. T. II. p. 638. Pogg. Ann. Bd. LVIII. S. 202. Auch Schönbein in Pogg. Ann. Bd. LVIII. S. 361; und Bericht über die Verhandlung der naturf. Gesellschaft in Basel Nr. VI. S. 12.

Da das Platin hier durch keines der beiden Gase chemisch angegriffen wird, so wies Poggendorff darauf hin, daß die Wirkung dieser Säule aus chemischer Action nicht herzuleiten sei.

Eben hierher gehören denn auch die schon lange bekannten von Ritter entdeckten *) Ladungssäulen, die man auch secundäre Säulen nennt. Eine darauf bezügliche, allerdings nur unvollständige Wahrnehmung wurde zuerst von Gautherot gemacht **). Solche Säulen erhielt man gewöhnlich, indem man gleichartige Metallplatten, z. B. von Kupfer, abwechselnd mit feuchten Tuchscheiben zusammenschichtete, und dann durch eine derartige, an und für sich unwirksame Säule eine volta'sche oder sonstige galvanische Säule schloß. Der Strom der letzteren zerlegte dann die Flüssigkeit in den Tuchscheiben, und die Platten wurden dadurch auf der einen Seite durch Wasserstoff, auf der anderen durch Sauerstoff elektrisch polarisirt. Wenn man dann diese secundäre von der galvanischen Säule trennte und für sich schloß, so gab dieselbe einen elektrischen Strom, der dem primären entgegengesetzt war. Eben so werden zwei Platinplatten, wie man aus Art. Galvanismus weiß, elektrisch polarisirt, wenn sie mit einer galvanischen Kette verbunden in einer Flüssigkeit stehen, so daß sie dann auch den primären Strom beträchtlich schwächen, indem sie selbst einen Strom von entgegengesetzter Richtung veranlassen. Auf dieselbe Weise läßt sich eine ganze Reihe solcher Plattenpaare polarisiren, und dadurch eine Ritter'sche Ladungssäule erhalten, die dann wie eine gewöhnliche wirkt.

Eine nähere Untersuchung der Grove'schen Gassäule führte nun Poggendorff ***) zu dem Schlusse, daß man zur Ladung solcher secundären Säulen nicht nothwendig einer primären von eben so viel oder mehr Plattenpaaren als jene enthalten, bedarf, sondern dieselbe vollkommen so gut mittelst einer einfachen volta'schen Kette ausführen kann, wie groß auch die Anzahl der Platten der secundären Säule sein mag.

Poggendorff beschreibt sein Verfahren folgendermaßen: Gesetzt, man habe eine Reihe platinirter Platinplatten (Art. Galvanismus, S. 352), paarweise in Zellen gestellt, die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt sind. Die eine Platte jeder Zelle möge mit H, die andere mit O bezeichnet sein. Der bisherige Weg zur Herstellung einer Ladungssäule bestand nun darin, daß man das H jeder Zelle mit dem O der nächsten durch einen Metalldraht verband, und dann den primären Strom die ganze Reihe der Zellen der Länge nach durchlaufen ließ. Dazu bedurfte es, wenn anders die Ladungssäule eine etwas beträchtliche Wirksamkeit erhalten sollte, einer volta'schen Säule von mindestens eben so viel Plattenpaaren als diese.

Poggendorff's Verfahren besteht aber darin, daß er zuvörderst sämmtliche H mit dem Zink, und sämmtliche O mit dem Platin einer einfachen Grove'schen Kette verknüpft; dadurch werden alle diese Platten polarisirt oder geladen, indem sich die H mit Wasserstoff und die O mit Sauerstoff bekleiden, und zwar alle

*) Voigt's Magaz. für den neuesten Zustand der Naturkunde. Bd. VI. S. 97. 181. Gilb. Ann. Bd. XIX. S. 491; Bd. XXI. S. 133; Bd. XXII. S. 202. 213. Schweigg. Journ. Bd. XLIX. S. 22. 264; Bd. LIII. S. 295; Bd. XLIX. S. 430; Bd. L. S. 88. Pogg. Ann. Bd. X. S. 423.

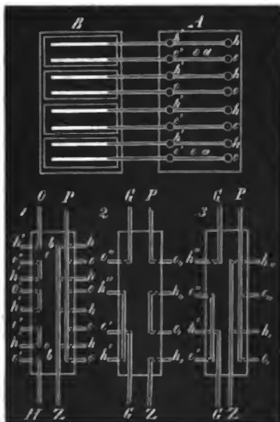
**) Voigt's Magaz. Bd. IV. S. 711. 831.

***) Dessen Ann. Bd. LX. S. 568.

gleich stark. Nachdem diese Verbindung eine gewisse Zeit bestanden hat, wird sie rasch aufgehoben, und die nunmehr geladenen Plattenpaare werden nach dem Princip der Säule unter sich und zugleich auch mit einem Voltameter verbunden, falls es die Absicht ist, die chemische Wirkung des secundären Stromes zu beobachten. Der so erhaltene secundäre Strom besitzt eine elektromotorische Kraft, welche die des primären der einfachen Kette im Allgemeinen desto mehr übertrifft, als die Zahl der Plattenpaare in der Ladungssäule größer ist; und wenn sie auch nicht mit dieser Anzahl ins Unbegrenzte wächst, weil die Platten desto schwächer polarisirt werden, je mehr ihrer da sind, so wird sie doch um so länger wachsen, als der Widerstand in der primären Kette kleiner ist.

Der secundäre Strom besitzt indessen nur eine kurze Dauer, die in dem Maße abnimmt, als man seine elektromotorische Kraft erhöht. Denn für jedes Aequivalent Wasser, welches in der primären zersetzt wird, empfängt die secundäre Säule die Bestandtheile eines zerlegten Aequivalents Wasser, also jede Zelle, wenn deren n vorhanden sind, nur die Bestandtheile von $\frac{1}{n}$ Aequivalent, d. h. um so weniger, je größer die Zahl n der Zellen ist. Die Wiedervereinigung der Bestandtheile dieses $\frac{1}{n}$ Aequivalents, welche den secundären Strom bedingt, wird aber, bei Gleichheit des Widerstandes in der secundären Säule und der primären Zelle, in einem ntel der Zeit geschehen, welche die primäre Kette zur Zersetzung eines vollen Aequivalents erforderte.

Will man nun dem secundären Strome eine andauernde Wirksamkeit verleihen, so muß man die oben angezeigte Operation sehr oft wiederholen, was mit freier Hand nicht thunlich ist. Poggendorff*) hat aber eine mechanische Vorrichtung von ähnlicher Construction, wie die gewöhnlichen Commutatoren, erdacht, vermittelst deren sich die Ladungen und Entladungen der secundären Säule sehr leicht und rasch vollziehen lassen. Dieses Instrument besteht wesentlich aus zwei Theilen, der Unterlage und einer sogenannten Wippe, die den Hauptmechanismus bildet. Der letzteren läßt sich, je nach den mannichfachen Anwendungen, die sie gestattet, eine verschiedenartige Einrichtung geben, während die erstere immer dieselbe bleiben kann.



Die Unterlage A (s. nebensteh. Figur) ist gebildet aus einem Brett von hartem, dichtem Holz, Buchsbaum oder Buchenholz, von 1 Z. Par. Dicke, 3¾ Z. Breite und von einer Länge, die sich nach der

*) Dessen Ann. Bd. LXI. S. 586.

Breite der Zellen oder Tröge, in welche das Plattenpaar der Säule zu stehen kommt, richtet. In diesem Brett sind, bis zur Tiefe von etwa einem halben Zoll, zwei Reihen Löcher h o, h o, ... h' o' angebracht und paarweise durch dicke, an beiden Enden hakenförmig herabgebogene Kupferdrähte mit einander verbunden. Diese Löcher werden mit Quecksilber gefüllt. Diese Unterlage ist, um das beim Gebrauche des Instruments in Tröpfchen aus den Löchern gerissene Quecksilber am Herunterfallen zu hindern, von einem erhöhten Rande aus Holz oder Pappe eingefaßt.

Neben der Unterlage befindet sich die zu ladende Säule B, deren Platten durch Klammern und Drähte mit einer der Löcherreihen, z. B. der linken h'o', h'o', in Verbindung stehen. Damit die Verbindungsdrähte möglichst kurz seien, hat man die Unterlage durch ein Stativ oder durch Holzklötze in gleiche Höhe mit dem oberen Theil der Platten, und diesem recht nahe zu bringen.

Auf die Unterlage kommt nun die Wippe zu stehen, ein Holzstück von $1/3$ Zoll Par. Dicke, $1^1/_3$ Z. Breite und gleicher Länge wie die Unterlage. Durch den mittleren Theil gehen zwei stumpf zugespitzte Stifte b b (Figur S. 664), welche zweien Vertiefungen a a in der Unterlage entsprechen; und in jeder Seite hat es eine Reihe von Haken. Mittelst jener Stifte stützt sich die Wippe auf die Unterlage, in der Weise, daß sie entweder nach der einen oder nach der anderen Seite neigt, also entweder mit der einen oder mit der anderen Reihe von Haken in die darunter befindlichen Quecksilberlöcher taucht. Die Haken haben die in der Figur abgebildete Einrichtung; doch stellt die Figur, weil sie nur eine Horizontal-Projection ist, den herabgebogenen Theil der Haken nicht dar. Die Haken bestehen aus Kupferdrähten von angemessener Dicke; sie gehen durch eingestochene Löcher von der Oberseite des Holzes zur Unterseite, und sind an dieser dem Zwecke gemäß umgebogen. An der rechten Seite sind, von oben gezählt, der 1te, 3te, 5te und 7te Haken mit dem Drahte Z, und der 2te, 4te, 6te und 8te mit dem Drahte P verbunden; an der linken Seite dagegen stehen der 2te und 3te, der 4te und 5te, der 6te und 7te mit einander in Verbindung, und die Haken an den Enden laufen in O und H aus. Soll das Instrument gebraucht werden, so setzt man zuerst die Wippe mit ihren Stiften b b in die Vertiefungen a a der Unterlage, verbindet hierauf die Enden Z und P durch angesetzte Drähte mit der primären Kette, z. B. einer Grove'schen, in der Weise, daß Z zum Zink und P zum Platin führt, und verknüpft in ähnlicher Weise O und H mit einem Voltameter. — Legt man die Wippe nun anfänglich so, daß die Haken h o, h o, ... in die Löcher h o, h o, ... tauchen, so ist die Ladungssäule mit der primären Kette verbunden, und, wenn ihre Zellen mit einer leitenden Flüssigkeit, z. B. mit verdünnter Schwefelsäure, gefüllt sind, empfangen die mit den Löchern h verknüpften Platten Wasserstoff, und die anderen Sauerstoff. — Schlägt man hierauf die Wippe um, so daß die Haken h'o', h'o', ... in die ähnlich bezeichneten Löcher tauchen, so wird die Verbindung der Platten mit der primären Kette aufgehoben, und sie werden dafür nach dem Princip der Säule unter sich und zugleich mit dem Voltameter verbunden. In Folge hiervon tritt nun die Entladung der Säule ein, die sich durch die im Voltameter bewirkte Wasserzersetzung sehr augenfällig zu erkennen giebt. Um diesen Proceß zu unterhalten, hat man nur die Wippe andauernd hin- und herzuführen, und dies geschieht mit einem Finger, den man auf oder an das obere Ende eines der Stifte b setzt, sehr bequem, erforderlichenfalls leicht 3 bis 400 Mal in einer Minute.

Es ist darauf wohl zu achten, daß immer die eine Hakenreihe ausgehoben sei, wenn die andere eingetaucht wird, daß also niemals beide zugleich das Quecksilber der respectiven Löcherreihen berühren.

Die Vertiefungen a a, welche die Vertiefungen der Spitzen b b aufnehmen, können, anstatt sie einfach in die hölzerne Unterlage einzubohren, durch conische Pfannen von Eisen ersetzt werden, wodurch zugleich die Beweglichkeit der Wippe erhöht wird. — Auch kann man mit Vortheil die Enden Z, P, H, O zu Haken umbiegen, ähnlich den Haken h o, h′o′, und sie in mit Quecksilber gefüllte Löcher greifen lassen, welche an den Enden der beiden Löcherreihen h o und h′o′ eingebohrt sind. Diese vier hinzugefügten Löcher werden nicht, wie die übrigen, paarweise durch Drähte verbunden, sondern isolirt gelassen; es wird aber in jedes derselben ein etwa zwei Zoll langer kupferner Stift eingeschlagen, an welchen durch eine Schraubenklemme der Verbindungsdraht befestigt wird, der sonst an dem jetzt in dasselbe Loch tauchenden Hakenende saß.

Bezüglich verschiedener anderer wichtiger Bemerkungen über den Gebrauch dieses Instruments in Hinsicht auf elektrische Polarisation und der Ladungssäule verweisen wir auf die citirte Abhandlung von Poggendorff (S. 593).

Wir wollen hier noch hervorheben, daß man (wie bereits im Art. Galvanismus bemerkt ist) jede galvanische Combination, bei der wenigstens ein Glied aus einer tropfbaren Flüssigkeit besteht, auch eine hydroelektrische Kette zu nennen pflegt. Diese hydroelektrischen Ketten lassen sich aber füglich in zwei Arten abtheilen, je nachdem nämlich die Richtung des elektrischen Stromes bei ihnen bedingt ist entweder durch die elektrische Erregung zwischen den Metallen selbst oder vorzugsweise durch die elektrische Differenz zwischen Metall und Flüssigkeit.

Schließlich haben wir noch die sogenannten trocknen oder Zamboni'schen Säulen zu besprechen, bei denen je zwei leitende Plattenpaare durch einen starren, mehr oder weniger trocknen Körper mit einander in Verbindung stehen. Die ersten darauf bezüglichen Versuche stellte wohl Ritter *) an, der zwischen Plattenpaare aus Zink und Kupfer statt der nassen Pappscheiben Scheiben aus Schafleder und Wachstuch brachte. Doch nahe um dieselbe Zeit experimentirten auch in ganz ähnlicher Weise Hachette und Desormes **) mit verschiedenen trocknen Substanzen, so wie auch Alizeau ***). Alsdann benutzte Behrens ****) möglichst ausgetrockneten Feuerstein als Zwischenleiter, und baute auch Säulen aus Zink und gewöhnlichem unächten Goldpapier, das auf der einen Seite mit einer dünnen Schicht Kupfer belegt ist. Marechaux *****) brachte gleichzeitig Scheiben von trockner Pappe zwischen Plattenpaare von Zink und Messing, und ersetzte auch bei der Construction einer solchen Säule das Messing durch Reißblei. Hierauf untersuchte Erman †) diese trocknen Säulen und fand deren Wirksamkeit abhängig von einem Rückstande an hygroskopischer Feuchtigkeit.

*) Reichsanzeiger vom Jahre 1802. Nr. 66. Ritter's physisch-chem. Abhdl. Bd. II. S. 270.

**) Gilbert's Ann. Bd. XVIII. S. 109 ff.

***) Ebenda.

****) Gilbert's Ann. Bd. XXIII. S. 24.

*****) Gilbert's Ann. Bd. XXII. S. 313. 318.

†) Gilbert's Ann. Bd. XXV. S. 1.

Hierauf nahmen die trocknen Säulen De Lüc's *) Interesse in Anspruch, der eine sehr wirksame Säule aus unächtem Goldpapier aufbaute, und zwischen die entgegengesetzten Pole derselben eine kleine an einem Faden hängende Kugel brachte, die zwischen zwei Kugeln, welche mit jenen Polen in Verbindung standen, in eine fortdauernde schwingende Bewegung versetzt wurde. Eine ähnliche Säule von 2500 Plattenpaaren errichtete Forster, die gleichfalls eine kleine Metallkugel, welche zwischen zwei isolirten mit den Polen der Säule verbundenen Glocken hing, in Bewegung setzte.

Durch De Lüc's Arbeiten veranlaßt beschäftigte sich nun auch Zamboni genauer mit den trocknen Säulen **), die dann von ihm an zum Gegenstande einer mehr bleibenden physikalischen Aufmerksamkeit wurden. Zamboni construirte seine erste Säule aus Scheiben von unächtem und ungeleimtem Silberpapier, das nämlich auf der einen Seite mit einer dünnen Lage von Zinn oder Zink überzogen ist. Auf der nichtmetallischen Seite war es mit einem Teig von Braunstein und Honig belegt.

Auch stellte er zwei ganz gleiche Säulen in einem Abstande von etwa 4 bis 5 Zoll einander gegenüber und zwischen ihnen auf einem besonderen Gestelle eine in der Mitte durchbohrte, um eine horizontale Axe bewegliche Nadel, die dann abwechselnd von der einen und der anderen Säule angezogen wurde, und die hierdurch erlangte Bewegung so lange fortsetzte, als die Wirkung der Säule dauerte. In dieser Vorrichtung besteht nun das sogenannte elektrische Perpetuum Mobile, das man auch in ähnlicher Weise wie bei De Lüc und Forster so herstellen kann, daß man zwei Säulen, deren entgegengesetzte Pole nach unten gekehrt sind, an den oberen Polen durch einen Querstab metallisch verbindet, und an diesem letzteren vermittelst eines Fadens von roher Seide ein leichtes Kügelchen aufhängt, das nun abwechselnd von beiden Polen angezogen in andauernde Schwingungen geräth.

Nach Zamboni beschäftigten sich noch namentlich Jäger ***), Bohnenberger ****) und Parrot *****) mit diesen Säulen.

Gewöhnlich verfertigt man nun solche Säulen aus unächtem Gold- und Silberpapier, indem man zwei Blätter davon mit der Papierseite an einander leimt, und dann daraus Scheiben von etwa 1 bis 2 Zoll Durchmesser schneidet. Diese Scheiben legt man so auf einander, daß immer in derselben Ordnung das unächte Silber (Zink) der einen Scheibe mit dem Kupfer der anderen in Berührung kommt. Häufig schließt man sie in eine wohl verkittete Glasröhre ein, die an ihren Enden mit metallenen Kappen verschlossen wird, welche mit den Polplatten der Säule in Verbindung stehen und von denen Drähte mit Knöpfen ausgehen, auf welche die Elektricität übergehen und so nach außen wirken kann. Um

*) Eine trockne elektrische Säule und ein atmosphärisches Elektroskop: Gilbert's Ann. Bd. XLIX. S. 100 ff.

**) Gilbert's Ann. Bd. XLIX. S. 35. Schweigg. Journ. Bd. XI. S. 16.

***) Gilbert's Ann. Bd. XLIX. S. 47; Bd. LI. S. 87; Bd. LII.; Bd. LV. S. 369; Bd. LXII. S. 227.

****) Tübinger Blätter für Naturwissenschaft und Arzneikunde. Bd. II. Gilbert's Ann. Bd. LIII. S. 316.

*****) Gilbert's Ann. Bd. LV. S. 163.

aber auffallendere Wirkungen zu erhalten, muß man wenigstens 800 bis 1000 Scheibenpaare zu einer Säule verbinden.

Biot errichtete auch trockne Säulen aus Kupfer, Zink mit dazwischengelegten Scheiben aus geschmolzenem Salpeter, und Jäger solche aus Zink, Kupfer, Firniß und Harz.

Munck af Rosenschöld*) baute trockne Säulen in der Weise, daß er Kupfer- und Zinkscheiben von etwa 5 Zoll Durchmesser auf einander abschleifen ließ, und als Zwischenkörper eine etwas kleinere Scheibe aus dünnem, sehr ebenen Druckpapier benutzte, die mit mäßig starker Chlorzinklösung getränkt, nach der Verdunstung des Wassers auf die eine Metallscheibe gelegt und durch Erhitzung möglichst vollständig getrocknet wurde. Durch hölzerne Klammern wurden dann die Metallplatten mit den zwischengelegten Papierscheiben zusammengepreßt. Um aber das Papier gegen äußere Feuchtigkeit zu schützen, brauchte man nur zwischen die äußeren Ränder der Metallplatten etwas geschmolzenes Harz einzulassen. Das Bemerkenswerthe bei einer solchen Säule ist der Umstand, daß der elektrische Strom nach der Entladung fast ganz verschwand und sich nur langsam wiederherstellte, so daß die Zeit der Wiederherstellung desselben oder die Ladung der Säule fortwährend zunahm.

Endlich hat Kämtz**) auch trockne Säulen aus organischen Körpern, unter Hinweglassung der Metalle, aufgebaut.

Während die gewöhnlichen Volta'schen Säulen ihre Wirksamkeit nach einiger Zeit durch die Zerstörung des einen metallischen Erregers von Seiten der tropfbaren Flüssigkeit verlieren und daher neuer Ersatz stattfinden muß, zeigen dagegen die Zamboni'schen Säulen jahrelang die statischen oder elektroskopischen Wirkungen der Elektricität, welche, wie sonst bei der Volta'schen Säule, mit der Anzahl der Plattenpaare zunehmen. Nach Bohnenberger sind die Geschwindigkeiten, womit sich trockne Säulen, die blos in der Größe der Oberfläche der Platten sich unterscheiden, laden und einem gegebenen condensirenden Elektrometer oder einer Leidner Flasche eine gewisse elektrische Spannung mittheilen, den Flächen der Platten oder Scheiben proportional, so daß dann auch die dazu erforderlichen Ladungszeiten im umgekehrten Verhältniß dieser Flächen stehen. — Daß man bei der Volta'schen Säule nichts von einem Unterschiede in der Zeit der Ladung je nach der Größe der angewandten Plattenpaare bemerkt, obschon er wohl stattfindet, kann daher kommen, weil hier die Ladung sowohl beim Elektrometer als bei der Leidner Flasche in jedem Falle so schnell vor sich geht, daß sie in einem Augenblicke vollendet erscheint. Indeß bemerkt man auch bei der Zamboni'schen Säule, daß außer der Größe der Platten noch die größere oder geringere Leitungsfähigkeit des zwischen den Platten eingeschalteten Körpers von Einfluß auf die Zeit der Ladung ist. So hat man z. B. gefunden, daß die Geschwindigkeit der Ladung durch solche Säulen, deren Elektromotore durch Papier von einander getrennt sind, welches nur mit thierischem Leim bestrichen oder getränkt ist, durch das Austrocknen in der Wärme vermindert und durch die Feuchtigkeit vergrößert wird. Bei der Volta'schen Säule findet die relativ vollkommenste Leitungsfähigkeit der Zwischenleiter und zufolge dessen die relativ größte Geschwindigkeit der Ladung statt.

*) Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 193. 445.
**) Schweigg. Journ. Bd. LVI. S. 1.

Diejenigen Erscheinungen, welche in der geschlossenen Volta'schen oder galvanischen Säule vorkommen, werden bei Zamboni'schen Säulen nur dann bemerkt, wenn sie aus einer großen Anzahl sehr großer Plattenpaare aufgebaut sind.

Die Wirksamkeit der Zamboni'schen Säule beruht, wie sich schon aus dem Vorstehenden vermuthen läßt, auf demselben Princip wie die der Volta'schen Säule, insofern nämlich die nichtmetallischen Zwischenkörper der erstgenannten Säule immer auch feuchte Körper sind. Dies wird durch die Erfahrung bestätigt, daß, wenn man eine gewöhnliche Zamboni'sche Säule gänzlich oder auch nur mäßig durch Wärme austrocknet, sie dann, auf die gewöhnliche Temperatur herabgekommen, so lange keine Elektricität am Elektrometer zu erkennen giebt, bis sie wieder allmälig Feuchtigkeit aufgenommen hat. Im scheinbaren Widerspruche hiermit stehen einige von Jäger gemachte Erfahrungen bezüglich des Einflusses der Wärme auf die Wirksamkeit solcher Säulen, wonach diese letzteren, nachdem sie möglichst ausgetrocknet, in dem Maße als sie weiter erwärmt wurden, ihre verlorne Wirksamkeit wieder erlangten, so daß sie bei 70 bis 75° R. sogar stärker als die nicht ausgetrockneten bei gewöhnlicher Temperatur auf das Elektrometer wirkten. Auch Schweigger*) fand, daß eine Säule, auf deren Silberpapierscheiben Braunstein durch Leimwasser aufgetragen war, durch erhitzte Luft in einer Ofenröhre getrocknet, sich unwirksam erwies, stark erhitzt aber wieder starke Wirksamkeit zeigte, wobei sie einen Dunst von sich gab, in Folge dessen sie stärker erhitzt werden mußte. Die so ausgetrocknete Säule erschien, auf die gewöhnliche Temperatur herabgekommen, ganz unthätig, nahm jedoch ihre ganze anfängliche Wirksamkeit wieder an, als sie äußerlich mit einem nassen Pinsel bespritzt wurde. Endlich fand Bohnenberger durch vergleichende Versuche, daß namentlich Säulen mit harzigen Zwischenkörpern sich um so geschwinder laden, je mehr sie erwärmt werden, wenigstens so lange die Wärme nicht über die Siedhitze steigt, und daß sie diese Eigenschaft erhalten, wenn auch durch die Erhitzung die Feuchtigkeit so viel als möglich entfernt und durch einen harzigen Ueberzug der Hinzutritt neuer Feuchtigkeit verhindert wird. Dies galt besonders bei Anwendung von Seidenpapier, das mit gekochtem Leinöl getränkt war, und eben so wenn der Zwischenkörper zwischen den Plattenpaaren aus Zink und Kupfer mit Bernsteinfirniß bestrichener englischer Wachstaffent war.

Man hat nun mit Recht darauf hingewiesen, daß nach diesen Versuchen die Wärme zwei Wirkungsarten im entgegengesetzten Sinne auszuüben scheine, nämlich erstens eine schwächende, insofern sie mit ihrer Zunahme die Säule austrocknet, und eine andere die Wirksamkeit der Säule begünstigende, insofern ihre Zunahme die elektrische Leitungsfähigkeit des Zwischenkörpers an und für sich erhöht.

Erinnert man sich nun aus dem Art. Leiter der Elektricität, daß der Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern nur ein relativer ist, daß verschiedene Nichtleiter, sowohl starre als auch flüssige, durch Erhöhung der Temperatur an Leitfähigkeit gewinnen, und daß selbst ein und derselbe Körper, bei verschiedener Aggregation seiner kleinsten Theile, sich theils als guter Leiter, theils als Nichtleiter der Elektricität verhalten kann, — so hat man keinen zureichenden Grund, die Wirksamkeit der Zamboni'schen Säule auf ein anderes Princip als die der Volta'schen Säule zu basiren.

*) Schweigg. Journ. Bd. XV. S. 132.

Wir haben dagegen anzuerkennen, daß in dem Falle, wo die Zwischenkörper zwischen den Elektromotoren (Plattenpaaren) wirklich strenge Nichtleiter sind, dennoch elektroskopische Erscheinungen stattfinden müssen. Es liege auf einer Zinkplatte eine Kupferplatte und auf dieser die Scheibe eines dünnen Nichtleiters, auf welcher wieder ein Zink-Kupferpaar in der gehörigen Ordnung liegen mag. Dann ist sowohl in diesem als auch in jenem Paare eine elektrische Differenz in bekannter Weise vorhanden, das Zink ist positiv, das Kupfer negativ elektrisch. Nun wirkt aber auch die auf dem Kupfer des ersten Paares vorhandene Elektricität, nach dem Gesetze der elektrischen Influenz, durch den Nichtleiter hindurch vertheilend auf die Elektricität des zweiten Paares, so daß in Folge dessen die Spannung des negativ elektrischen Zustandes auf der zweiten Kupferplatte größer als auf der ersten sein muß. Und so wird kraft dieser vertheilenden Wirkung die elektrische Spannung von einem Plattenpaare zum andern wachsen, wenn man eine größere Anzahl solcher Plattenpaare vermittelst des Nichtleiters in derselben Ordnung auf einander schichtet. Insofern jedoch hier keine Mittheilung der Elektricität von einem Plattenpaare zum andern hin stattfindet, wird auch ein derartiger Apparat in sich selber keine eigentliche elektrische Strömung, sondern nur statische Erscheinungen der Elektricität darbieten, und daher auch unter den Begriff einer galvanischen Säule nicht im strengen Sinne subsumirt werden können.

Rousseau benutzte die trockne Säule zur Construction eines sogenannten Diagometers oder Leitungsmessers (s. Art. Leiter der Elektricität, Bd. IV. S. 460), um damit die relativ elektrische Leitungsfähigkeit verschiedener schlecht leitender Flüssigkeiten zu bestimmen; und Bohnenberger wandte dieselbe zweckmäßig zur Construction eines sehr empfindlichen Elektroskopes (s. d. Art. Elektrometer) an.

Säuren (lat. acidum, von acidus, sauer, weil die einzige Säure, welche die Alten kannten — der Essig — stark sauer schmeckte) nennt man eine eigenthümliche Art von chemischen Verbindungen, die zuerst von Lavoisier gesondert hingestellt wurden, obgleich man schon 100 Jahre früher die wesentlichen und charakteristischen Kennzeichen dieser Verbindungen erkannt hatte. Am längsten war als Eigenthümlichkeit der Säuren bekannt, daß sie kräftige Auflösungsmittel für sehr verschiedene Körper seien. Die noch heute giltige Definition rührt von Boyle her. Als Erkennungszeichen für die Säuren gilt die Eigenschaft, daß sie blaue Pflanzenfarben in roth verwandeln und die durch die Alkalien verwandelten Pflanzenfarben wieder herstellen. Dieses Kriterium ist aber eben so wenig scharf, wie der saure Geschmack, welchen die Säuren besitzen sollen. Beide Eigenschaften können nur den Säuren zukommen, die in Wasser löslich sind; die Kieselsäure z. B. besitzt aus diesem Grunde weder einen sauren Geschmack, noch übt sie irgend eine Reaction auf Pflanzenfarben aus. Die wesentlichste Eigenschaft der Säuren ist die, daß sie sich mit Basen verbinden und mit diesen Salze bilden. Die Säuren bilden so zu sagen den Gegensatz der Basen, sie verhalten sich in Bezug auf diese elektronegativ. Zersetzt man die Lösung eines Salzes durch den galvanischen Strom, so scheidet sich die Base stets an der Kathode und die Säure stets an der Anode aus; d. h. nur dann, wenn Base und Säure nicht selbst durch den elektrischen Strom zersetzt werden. Wir haben aber zu bemerken, daß verschiedene Verbindungen des Fluor, Chlor, Brom, Jod, Selen und Schwefel mit Nichtmetallen oder auch mit Metallen, während ihnen die zuerst

besprochenen Eigenschaften der Säuren abgehen, sich mit gewissen Basen dennoch zu Salzen verbinden, so daß auch sie als Säuren im weiteren Sinne zu betrachten wären.

So schroff sich auch die stärksten Säuren und die stärksten Basen einander gegenüberstehen, so ist der Begriff von Säure und Base dennoch ein relativer. Es findet nämlich von den stärksten Säuren durch die schwächeren und dann durch die schwächeren Basen bis zu den stärksten ein ganz allmäliger Uebergang statt, so daß es bei gewissen Verbindungen schwer hält eine scharfe Grenze zu ziehen. So verhält sich z. B. die Thonerde gegen die Schwefelsäure als Base; nun verbindet sich aber die erstere auch mit dem Kali, einer sehr starken Base, und spielt hier entschieden die Rolle einer schwachen Säure. Aehnlich verhalten sich Zinnoxyd, Wasser rc. Diese in der Mitte liegenden Verbindungen bezeichnet man bisweilen auch als amphotere (von ἀμφότερος, beide, doppelartig, unbestimmt).

Nicht allein der Sauerstoff ist fähig Säuren zu bilden, sondern auch der Wasserstoff. Man unterscheidet daher seit 1812 Sauerstoffsäuren (Oxacides), wie Kohlensäure, phosphorige Säure, Phosphorsäure, schweflige Säure, Schwefelsäure, arsenige Säure, Arseniksäure rc., und Wasserstoffsäuren (Hydracides), wie Chlor-, Brom-, Jod-, Fluorwasserstoffsäure. Den Sauerstoff und Wasserstoff nennt man daher auch die säurenden oder acidificirenden Principe; während der mit ihnen verbundene Körper das Säureradical heißt. Berzelius indessen behauptet, daß nicht der Sauerstoff, sondern das mit diesem verbundene Radical als Säuerungsprincip zu betrachten sei, da die Verbindungen des Sauerstoffs eben so gut starke Basen, wie Säuren seien, je nach der Natur des Stoffes, mit welchem sich der Sauerstoff vereinigt hat. Dasselbe machten Gay-Lussac und Davy von den Wasserstoffsäuren geltend.

Das Radical sowohl in den Sauerstoff- wie in den Wasserstoffsäuren ist entweder ein einfaches (ein Element) oder ein zusammengesetztes; hiernach hat man die Säuren auch eingetheilt in unorganische und organische. Nun aber machen auch Säuren, in denen man das Radical als ein einfaches betrachten kann, z. B. die Oxalsäure ($C^2 + O^3$), auf den Namen einer organischen Säure Anspruch, während man auf der anderen Seite in neuerer Zeit wiederum organische Säuren dargestellt hat aus Substanzen, die mit dem organischen Processe in keinem Zusammenhange stehen, so daß also diese Eintheilung nicht als richtig angesehen werden kann.

Von den Sauerstoffsäuren haben wir anzuführen, daß es bei sehr vielen bis jetzt noch nicht gelungen ist, sie isolirt, d. h. im wasserfreien Zustande darzustellen. In der Regel kommen sie mit Wasser, oft sogar in verschiedenen Verhältnissen verbunden, als Hydrate vor. Bei einigen allerdings genügt die Anwendung der Wärme, wie z. B. bei der Borsäure, um das Wasser zu entfernen, andere, wie z. B. die Schwefelsäure und Phosphorsäure, halten das Wasser so fest zurück oder ziehen es wieder so begierig an, daß sie entweder sehr schwierig oder gar nicht im wasserfreien Zustande darzustellen und zu erhalten sind. Die charakteristischen Eigenschaften der Säure werden keineswegs durch das chemisch gebundene Wasser beeinträchtigt. In diesem Wasser ist oft genau so viel Sauerstoff enthalten, wie in dem Oxyde, welches sich mit derselben Menge Säure verbindet; es wird hierbei also so zu sagen das Wasser durch eine entsprechende Menge der verschiedenen Oxyde vertreten.

Anders aber ist es in dieser Beziehung bei den Wasserstoffsäuren. Diese verbinden sich nicht direct wie die Sauerstoffsäuren mit den Oxyden, sondern es bildet sich hierbei stets Wasser, weil sowohl bei der Säure wie bei der Base eine Zersetzung stattfindet. Es verbindet sich stets das Radical der Säure mit dem Radical der Base zu einem sogenannten Haloidsalze, während der Wasserstoff der Säure mit dem Sauerstoff der Base zu Wasser zusammentreten. Einige Beispiele werden dies deutlicher machen. Die Schwefelsäure (SO^3) verbindet sich direct mit dem Kali (KO) zu $KO + SO^3$; dagegen aber tritt die Chlorwasserstoffsäure (Cl H) nicht direct mit dem Kali (KO) zu KO + Cl H zusammen, sondern es bilden sich K Cl und HO.

Mit dem Wasser dagegen gehen die Wasserstoffsäuren keine Verbindungen ein; man hat das erstere nur als Auflösungsmittel anzusehen. Man kann sie alle wasserfrei darstellen. Bis jetzt kennt man noch kein Radical, das sich mit dem Wasserstoff in mehreren Verhältnissen zu Wasserstoffsäuren verbindet. Allerdings verbinden sich einige Elemente, wie z. B. der Schwefel, in mehreren Verhältnissen mit dem Wasserstoff; diesen Verbindungen gehen aber mit Ausnahme einer die Eigenschaften der Säure ab. Beim Sauerstoff hingegen ist es anders. Er verbindet sich in verschiedenen bestimmten einfachen Verhältnissen mit manchen Elementen. Mit Stickstoff z. B. bildet der Sauerstoff drei Säuren: die salpetrige Säure (NO^3), die Untersalpetersäure (NO^4) und die Salpetersäure (NO^5), mit dem Chlor vier Säuren: die unterchlorige Säure (Cl O), die chlorige Säure ($Cl O^4$), die Chlorsäure ($Cl O^5$) und die Ueberchlorsäure ($Cl O^7$), und mit dem Schwefel sogar sieben verschiedene Säuren, so daß in diesem Falle die gewöhnliche Nomenclatur nicht mehr ausreichte und andere Benennungen geschaffen werden mußten. In der Regel sind in diesen Fällen die Verbindungen mit größerem Sauerstoffgehalt stärkere Säuren als die mit geringerem Sauerstoffgehalt.

Wie wir aus den vorstehenden Beispielen sehen, stehen die Gewichtsmengen des Sauerstoffs, welche sich mit denselben Mengen des Radicals verbinden, in einem einfachen Verhältniß zu einander. So verbinden sich z. B.

35,4	Chlor mit	8,0	Sauerstoff	zu	43,4	unterchlorige Säure;
35,4	„ „	32,0	„	„	67,4	chlorige Säure;
35,4	„ „	40,0	„	„	75,4	Chlorsäure und
35,4	„ „	56,0	„	„	91,4	Ueberchlorsäure.

Das Verhältniß des Sauerstoffs in diesen verschiedenen Verbindungen ist demnach = 1 : 4 : 5 : 7; während es bei den Sauerstoffsäuren des Stickstoffs = 3 : 4 : 5 ist, denn hier verbinden sich

14	Stickstoff mit	24	Sauerstoff	zu	38	salpetrige Säure;
14	„ „	32	„	„	46	Untersalpetersäure und
14	„ „	40	„	„	54	Salpetersäure.

Von diesem Verhältniß hängt zugleich in den Salzen, welche die Säuren bilden, das Verhältniß des Sauerstoffs der Basen zu dem der Säuren ab. Bei den Salzen der unterchlorigen Säure ist es z. B. wie 1 : 1, bei denen der schwefligen Säure und der Kohlensäure wie 1 : 2, bei denen der Schwefelsäure wie 1 : 3, bei denen der Chlor- und Phosphorsäure wie 1 : 5. Die Gewichtsmenge einer Base, die sich mit einer bestimmten Menge Säure, z. B. mit 100 Gewichtstheilen verbindet, ist also eine verschiedene; sie hängt ab von dem Atomgewicht

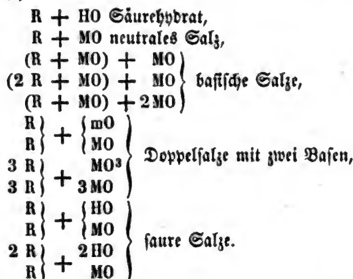
der Base und dem darin enthaltenen Sauerstoff. Berechnet man die Mengen der verschiedenen Basen, die sich mit 100 Th. einer Säure verbinden, so wird man finden, daß alle genau dieselbe Menge Sauerstoff enthalten und diese belegt Berzelius mit dem Namen Sättigungscapacität einer Säure. So ist z. B. die Sättigungscapacität der Schwefelsäure = 20, die der Salpetersäure = 15, die der Chlorsäure = 11. Man findet diese Zahl, wenn man die Sauerstoffmenge, welche die Säure in 100 Gewichtstheilen enthält, mit derjenigen Zahl dividirt, welche angiebt, um wie viel Mal die Säure mehr Sauerstoff in einem normalen Salze enthält wie die Base. Diese Sättigungscapacität ist eine allgemeine. Weiß man z. B., daß sich

500	Gewichtstheile	Schwefelsäure	mit	589,92 Kali verbinden oder
675	"	Salpetersäure	"	350,00 Kalk
900	"	Phosphorsäure	"	390,90 Natron
637,5	"	Essigsäure	"	956,88 Baryt,

so ist hiermit zugleich das Verhältniß gegeben, in dem sich die angeführten Säuren mit sämmtlichen der angeführten Basen verbinden.

Schon bei den unorganischen Säuren machte man die Beobachtung, daß sie zu ihrer Sättigung ein Atom, wie z. B. die Kohlensäure, schweflige Säure, Schwefelsäure, Chlorsäure, Salpetersäure, Metaphosphorsäure, oder zwei, wie z. B. die Pyrophosphorsäure oder auch drei Atome einer einsäurigen Base, wie z. B. die gewöhnliche Phosphorsäure bedürfen. Mehr noch ist dies der Fall unter den organischen Säuren. Deshalb theilt man die Säuren auch ein in einbasische, zweibasische und dreibasische Säuren. Aehnlich wie bei der Phosphorsäure fand Liebig bei verschiedenen organischen Säuren, die mit unorganischen Basen verbunden waren, daß diese Salze bei höherer Temperatur ein oder mehrere Atome Wasser abtreten. Nach Liebig ist eine einbasische Säure eine solche, deren Hydrat oder Salze aus einem Aequivalent Säure und einem Aequivalent Wasser oder Base bestehen; eine zweibasische Säure enthält in dem Hydrat oder den Salzen auf ein Aequivalent der Säure zwei Aequivalente Wasser oder Base und eine dreibasische demnach drei Aequivalente Wasser oder Base.

Die größte Zahl der Säuren gehört zu den einbasischen. Die Salze derselben lassen sich durch folgende allgemeine Formeln ausdrücken (R = wasserfreie Säure und MO = Base).



$R + HO$ Säurehydrat,

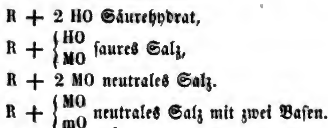
$R + MO$ neutrales Salz,

$\left.\begin{array}{r}(R + MO) + MO \\ (2R + MO) + MO \\ (R + MO) + 2MO\end{array}\right\}$ basische Salze,

$\left.\begin{array}{l}\left.\begin{array}{r}R \\ R\end{array}\right\} + \left\{\begin{array}{l}mO \\ MO\end{array}\right. \\ \left.\begin{array}{r}3R \\ 3R\end{array}\right\} + \begin{array}{r}MO^3 \\ 3MO\end{array}\end{array}\right\}$ Doppelsalze mit zwei Basen,

$\left.\begin{array}{l}\left.\begin{array}{r}R \\ R\end{array}\right\} + \left\{\begin{array}{l}HO \\ MO\end{array}\right. \\ \left.\begin{array}{r}2R \\ R\end{array}\right\} + \begin{array}{r}2HO \\ MO\end{array}\end{array}\right\}$ saure Salze.

Zu den zweibasischen Säuren gehören außer der Pyrophosphorsäure z. B. die Weinsäure ($C^8 H^4 O^{10} + 2 HO$), die Komensäure ($C^{12} H^2 O^8 + 2 HO$), die Knallsäure ($C^4 N^2 O^2 + 2 HO$) und die Gallussäure ($C^7 HO^3 + 2 HO$). In allen diesen Säuren werden die 2 At. Wasser durch 2 At. einer Base ersetzt, so daß die allgemeinen Formeln der Salze der zweibasischen Säuren folgendermaßen geschrieben werden:



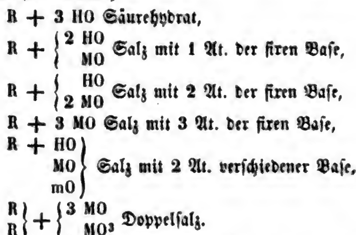
$R + 2 HO$ Säurehydrat,

$R + \begin{cases} HO \\ MO \end{cases}$ saures Salz,

$R + 2 MO$ neutrales Salz.

$R + \begin{cases} MO \\ mO \end{cases}$ neutrales Salz mit zwei Basen.

Zu den dreibasischen Säuren gehören außer der Phosphor- und Arseniksäure die Mekonsäure ($C^{14} HO^{11} + 3 HO$), die Citronensäure ($C^{12} H^5 O^{11} + 3 HO$) und die Cyanursäure ($C^6 N^3 O^3 + 3 HO$). Diese drei At. Wasser können entweder ganz oder theilweise durch die Base vertreten werden. Die allgemeinen Formeln der Salze dieser Säuren sind demnach:



$R + 3 HO$ Säurehydrat,

$R + \begin{cases} 2\ HO \\ MO \end{cases}$ Salz mit 1 At. der fixen Base,

$R + \begin{cases} HO \\ 2\ MO \end{cases}$ Salz mit 2 At. der fixen Base,

$R + 3 MO$ Salz mit 3 At. der fixen Base,

$R + \left.\begin{matrix} HO \\ MO \\ mO \end{matrix}\right\}$ Salz mit 2 At. verschiedener Base,

$\left.\begin{matrix} R \\ R \end{matrix}\right\} + \begin{cases} 3\ MO \\ MO^3 \end{cases}$ Doppelsalz.

Nach **Liebig** stehen die Cyanursäure, die Knallsäure und die Cyansäure in demselben Verhältniß zu einander, wie die Phosphorsäure, die Pyrophosphorsäure und die Metaphosphorsäure. — Im Allgemeinen kann jede Säure, die nach der gewöhnlichen Ansicht saure Salze bildet, für eine zwei- oder mehrbasische gehalten werden.

Liebig's Ansicht entgegen nehmen Andere an, daß das abgeschiedene Wasser in den organischen Säuren nicht als solches vorhanden gewesen sei, sondern erst durch die Einwirkung der Basen und der Wärme aus den Bestandtheilen der Säure gebildet wird und daß, wenn die Säure, aus ihren Verbindungen abgeschieden, ihre ursprünglichen Eigenschaften wieder erlangt, sie durch Wasserzersetzung in die frühere Säure übergeht. Welche Ansicht die richtige ist, ist in vielen Fällen sehr schwierig zu entscheiden.

Sowohl organische wie unorganische Säuren haben die Fähigkeit, sich mit organischen Verbindungen in der Art zu vereinigen, daß die Verbindung die sauren Eigenschaften der Säure behält, dieselbe jedoch nicht mehr durch die gewöhnlichen Reagentien erkannt und nachgewiesen werden kann. Solche Säuren nennt man **gepaarte** Säuren und den mit den Säuren verbundenen organischen Körper den **Paarling**. Der letztere geht in alle Verbindungen der Säure mit ein, ohne

abgeschieden zu werden und bleibt auch nach der Abscheidung aus den Verbindungen mit der Säure vereint. Es ist sehr wahrscheinlich, daß namentlich diejenigen Säuren, welche eine große Anzahl Sauerstoffatome enthalten, zu den gepaarten Säuren zu rechnen sind. Am meisten bekannt sind jedoch die Verbindungen, welche durch Einwirkung von Schwefel- und Salpetersäure auf organische Verbindungen entstehen. Je nach der Säure, welche mit dem Paarling die gepaarte Säure bildet, zerfallen diese Säuren in gepaarte Sulfosäuren, Nitrosäuren, Chlorosäuren, Acetosäuren 2c.

In den meisten Fällen tritt bei der Bildung dieser gepaarten Säuren 1 Atom Wasser aus der Verbindung aus. Ist der Paarling eine sauerstofffreie Verbindung, so entsteht das Wasser auf Kosten von 1 At. Sauerstoff der Säure, welche 1 At. Wasserstoff der organischen Substanz oxydirt. Enthält die organische Substanz Sauerstoff, so kann das Wasser aus den Bestandtheilen der organischen Substanz sich gebildet haben. 1 At. der Säure verbindet sich mit einem oder auch mit mehreren Atomen des Paarlings und eben so 1 At. vom Paarling mit 2 At. der Säure. Solche gepaarte Säuren sind z. B.:

Benzidschwefelsäure	$(C^{12}H^{5})\left\{\begin{matrix}O^{2}\\S\end{matrix}\right., SO^{3}.$
Aethiansäure	$(C^{4}\ H^{4})\,O^{2},\ S^{2}O^{5}.$
Sulfelaylschwefelsäure	$(C^{4}\ H^{3})\,S,\ 2\,SO^{3}.$
Naphtalinschwefelsäure	$C^{20}H^{8}\left\{\begin{matrix}O^{2}\\S\end{matrix}\right., SO^{3}.$
Sulfäthylschwefelsäure	$C^{4}\ H^{5}\left\{\begin{matrix}S\\O\end{matrix}\right., SO^{3}.$
Benzoylschwefelsäure	$(C^{14}H^{5})\,O^{2},\ SO^{3}.$
Chlorspiroylsäure	$C^{12}H^{3}\left\{\begin{matrix}Cl\\O\end{matrix}\right., Cl\,O.$
Chlorcuminsäure	$C^{20}H^{11}O,\ Cl\,O.$
Bromcuminsäure	$C^{20}H^{11}O,\ Br\,O.$
Nitrobludsäure	$(C^{14}H^{7}\,O\,NO^{3})\,NO^{5}.$
Nitrobenzoesäure	$(C^{14}H^{4})\,O^{2},\ NO^{5}$ oder $(C^{14}H^{4})\,O^{3},\ NO^{4}.$
Nitrozimmtsäure	$(C^{18}H^{6})\,O^{2},\ NO^{5}$ oder $(C^{18}H^{6})\,O^{3},\ NO^{4}.$
Nitrocoumarylige Säure	$(C^{18}H^{6})\,O^{3},\ NO^{5}$ oder $(C^{18}H^{6})\,O^{4},\ NO^{4}.$
Nitronaphtalinsäure	$(C^{20}H^{7})\,NO^{4}.$
Mandelsäure	$(C^{14}H^{6})\,O^{2},\ C^{2}H\,O^{3}.$
Sulfäthylessigsäure	$(C^{4}\ H^{5})\left\{\begin{matrix}S\\O\end{matrix}\right., C^{4}H^{3}O^{3}.$

Hieran schließen sich die Säuren der allgemeinen Formel $(C^{2}H^{2})\,n + 4\,O$ an, welche nach Frankland und Kolbe aus Oxalsäure, Wasser und dem Radical eines Alkohols, dem Paarling, bestehen, als da sind:

Ameisensäure	$C^{2}\ H^{2}\ O^{4} = HO + H + C^{2}O^{3}$
Essigsäure	$C^{4}\ H^{4}\ O^{4} = HO + C^{2}\ H^{3} + C^{2}O^{3}$
Metacetonsäure	$C^{6}\ H^{6}\ O^{4} = HO + C^{4}\ H^{5} + C^{2}O^{3}$
Buttersäure	$C^{8}\ H^{8}\ O^{4} = HO + C^{6}\ H^{7} + C^{2}O^{3}$
Baldriansäure	$C^{10}H^{10}O^{4} = HO + C^{8}\ H^{9} + C^{2}O^{3}$
Capronsäure	$C^{12}H^{12}O^{4} = HO + C^{10}H^{11} + C^{2}O^{3}.$

Die Ansichten, welche Davy 1815 über die Constitution der Säuren aussprach, gaben zu einer Discussion Veranlassung, die auch jetzt noch nicht erledigt ist. Nach ihm sollten bei dem Jodsäurehydrat und dem Chlorsäurehydrat die sauren Eigenschaften mit dem Gehalt an Wasserstoff in Verbindung stehen und dieser Wasserstoff sollte sich durch Metalle ersetzen lassen. Er begründete diese Ansicht durch das Verhalten des chlorsauren Kalis in der Hitze; hier entweicht bekanntlich aller Sauerstoff, so daß nur Chlorkalium zurückbleibt, ohne daß die Neutralität der Salze geändert wird. Davy behauptete zunächst für die genannten beiden Säuren, daß deren Hydrate die eigentlichen Säuren seien und daß das Wasser nicht als solches in ihnen vorhanden sei. Die Salze der beiden Säuren hätte man anzusehen, als beständen sie aus Metall einer- und Jod oder Chlor mit sämmtlichem Sauerstoff andererseits. Dulong dehnte diese Ansicht weiter aus, so daß alle Hydrate der Sauerstoffsäuren nach ihm Wasserstoffverbindungen eines zusammengesetzten Radicals sind. Für das Schwefelsäurehydrat stellt er das Radical Sulfan (SO^4) und für das Salpetersäurehydrat das Radical Nitran (NO^6) auf. Hiermit ist auch der Unterschied zwischen den Haloid- und Amphidsalzen gefallen.

Diese Theorie fand lange Zeit entschiedenen Widerspruch, bis sie endlich durch Liebig wieder aufgenommen wurde. Er dehnte sie auf alle wasserhaltigen Säuren aus und stellte dafür folgende Gesetze auf: 1) Die wasserhaltigen Säuren sind Verbindungen eines oder mehrerer Elemente mit Wasserstoff, der durch Aequivalente von Metallen vertreten werden kann. 2) Vermehrt sich die Menge des Wasserstoffs außerhalb des Radicales, so nimmt die Sättigungscapacität im gleichen Grade zu oder sie nimmt ab. — 3) Wenn zu den Bestandtheilen des Radicales unbestimmte Quantitäten der nämlichen Elemente oder verschiedene Elemente treten, während die Menge des ersetzbaren Wassers die nämliche bleibt, so vergrößert sich das Atomgewicht der Säure, ihre Sättigungscapacität bleibt aber dieselbe. Diese hängt hier also einzig und allein von dem durch die Metalle ersetzbaren Wasserstoff ab. Da es nun zwei-, drei- und mehrbasische Säuren giebt, so enthalten diese zwei, drei oder mehrere Atome Wasserstoff, die in den entsprechenden Salzen entweder ganz oder theilweise durch Metalle ersetzt werden. Hiernach wären die Formeln der Säuren folgendermaßen zu schreiben:

einbasische	Metaphosphorsäure	$PO^6 + H$
	Essigsäure	$C^4H^3O^4 + H$
zweibasische	Pyrophosphorsäure	$PO^7 + H^2$
	Komensäure	$C^{12}H^2O^{10} + H^2$
	Weinsäure	$C^8H^4O^{12} + H^2$
dreibasische	gewöhnliche Phosphorsäure	$PO^8 + H^3$
	Citronensäure	$C^{12}H^5O^{14} + H^3$.

W. B.

Salmiak, s. Chlor.

Salpeter, s. Kalium, Bd. IV. S. 204.

Salzbasen, s. Basen.

Salze. Das älteste Salz ist das Kochsalz, das schon den Alten bekannt war. Schon in sehr früher Zeit wurden auch andere Körper, die mit dem Kochsalz einige Aehnlichkeit hatten, mit dem Namen Salz belegt. So nannte z. B. schon Aristoteles das, was sich beim Abdampfen der Lauge aus der Holzasche absetzt, Salz. Der lateinische Name sal (Salz) soll nach Einigen von der Eigen-

schaft des Kochsalzes im Feuer zu verknistern (decrepitiren), also von exsilire abstammen, Andere leiten es ab von salum oder sol, weil es aus dem Meere entstehe oder unter dem Einflusse der Sonne sich bilde. Schon Plinius spricht sich dahin aus, daß jedes Salz durch Auflöslichkeit charakterisirt werde und das Product einer Auflösung durch Abscheidung des Auflösungsmittels sei. Diese Ansicht über den Begriff Salz galt allgemein bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts. Eine Zeit lang jedoch — bis zu Boyle — war Salz nur ein abstracter Begriff; man verstand darunter ein Element, im Sinne der aristotelischen. Die Bedeutung des ursprünglichen Begriffes hatte sich also ganz verloren.

Neben der Löslichkeit in Wasser sollten auch die Schmelzbarkeit und der Geschmack wesentliche Kennzeichen für ein Salz sein. Die Löslichkeit aber bestimmte vorzüglich, welcher Körper ein Salz sei und welcher nicht. So forderte z. B. Bergmann, daß eine Substanz, welche den Geschmack afficire, nur dann Salz zu nennen sei, wenn sie sich in weniger als dem fünfhundertfachen ihres Gewichtes von reinem siedendem Wasser löse. Andere, wie z. B. Kirwan, zogen die Grenzen noch enger, bis zu weniger als dem zweihundertfachen. Diese Definition ist aber sehr unvollständig; sie ließ zu, daß die verschiedenartigsten Körper, wie krystallisirbare Säuren, die Alkalien, organische Stoffe, wie z. B. der Zucker, zu den Salzen gezählt wurden, während wahre Salze, die sehr schwer löslich sind, wie das schwefelsaure Bleioxyd und der schwefelsaure Baryt, davon ausgeschlossen wurden. Seitdem aber Lavoisier die Zusammensetzung der Säuren näher kennen gelehrt hatte, stellten sich, wenn auch langsam, richtigere Begriffe ein. Erst in dem Anfange des jetzigen Jahrhunderts wurde die Bezeichnung Salz ausschließlich den Substanzen beigelegt, welche man als aus Säure und Basis gebildet ansieht. Die Begründung dieser neueren Ansicht über den Begriff Salz verdankt man eigentlich Rouelle (1744). Schon er nannte jede Verbindung einer Säure mit einer Basis Mittelsalz. Er unterschied saure, vollkommene oder salzige und alkalische (basische) Salze, die er jedoch alle noch unter den Begriff der Neutralsalze bringt. Unter den neueren Chemikern haben sich Gay-Lussac, Thénard, Boullay und Bonsdorf mit der Feststellung des Begriffes Salz beschäftigt; das Meiste aber verdanken wir Berzelius, dessen Ansichten noch jetzt für einen großen Theil der Chemiker maßgebend sind.

Berzelius theilt die Salze ein in Haloidsalze (Salia halogeniorum) und Amphidsalze (Salia Amphigeniorum). Die ersteren (von ἅλς, Salz und εἴδω, ähnlich sein), — also salzähnliche Verbindungen, sind unmittelbar aus einem Halogen (Salzbildner, von ἅλς, Salz, und γεννάειν, erzeugen) und einem Metall zusammengesetzt. Sie bestehen also meistens aus einfachen Elementen. Hierher gehören die Salze des Chlors, Broms, Jods, Fluors und Cyans. Ob sich die Wasserstoffsäuren, eben so wie die Sauerstoffsäuren verbinden oder nicht, darüber sind die Ansichten verschieden. Diese Frage wird dadurch weniger wichtig, daß die Erscheinungen in beiden Fällen dieselben sind. Nach Berzelius ist es zweckmäßiger, bei den Salzen der Wasserstoffsäuren keine den Sauerstoffsalzen analoge Verbindungen anzunehmen. Allerdings sprechen einige Fälle für das Gegentheil. So fand z. B. Gay-Lussac, daß, wenn man Quecksilberoxyd mit concentrirter Cyanwasserstoffsäure zusammenbringt, sich Wasser abscheidet; man erhält eine Verbindung, die man früher für blausaures Quecksilberoxyd ansah. Gay-Lussac hat aber nachgewiesen, daß darin weder Sauerstoff noch Wasserstoff

enthalten sei. Obgleich diese Verbindung denen des Quecksilberoxyds mit Sauerstoffsäuren ähnlich ist, so ist sie dennoch von den Sauerstoffsalzen sehr verschieden. Anders ist es nun, wenn wir Quecksilberoxyd in wässeriger Cyanwasserstoffsäure auflösen; die Abscheidung des Wassers können wir hier nicht wahrnehmen. Es entsteht nun die Frage: enthält die Auflösung cyanwasserstoffsaures Quecksilberoxyd (Hg O + Cy H) oder Cyanquecksilber in Wasser gelöst (Hg Cy + HO). Diese Frage ist nicht zu entscheiden und, wie die Formeln zeigen, von keiner großen Wichtigkeit, zumal wenn die Auflösung abgedampft wird, so erhalten wir Cyanquecksilber, also eine Verbindung, die weder Wasserstoff noch Sauerstoff enthält. Neutralisirt man die Wasserstoffsäuren mit kohlensauren oder ätzenden Alkalien, so sind die Vorgänge ganz dieselben wie bei den Sauerstoffsäuren; aber die Verbindungen, die man hierbei erhält, enthalten im festen Zustande weder Wasserstoff noch Sauerstoff, so ähnlich sie oft auch im äußeren Ansehen den Sauerstoffsalzen sind. Das sogenannte eisenblausaure Kali enthält im krystallisirten Zustande genau so viel Wasser, als nöthig ist, um mit dem darin enthaltenen Kalium und Eisen Kaliumoxyd und Eisenoxydul und mit dem Cyan Cyanwasserstoffsäure zu bilden. Beim Liegen an der Luft aber, wenn diese sehr trocken ist, geht das Wasser fort und die Krystalle zerfallen zu Pulver und nun sind nur Cyaneisen und Cyankalium vorhanden. Daraus geht deutlich hervor, daß das Wasser eben nur als Krystallwasser zu betrachten ist, denn daran ist nicht zu denken, daß die Luft hier zersetzend eingewirkt habe. Aus den angeführten Fällen geht wohl deutlich hervor, daß es in den meisten Fällen höchst wahrscheinlich ist, daß die Wasserstoffsäuren sich nicht direct mit den Basen verbinden, sondern daß beide zuvor zerlegt werden und sich hierbei Wasser abscheidet.

Wenn nun Einige so weit gehen, daß sie das Kochsalz, von dem ja der Name für die ganze Klasse herrührt, nicht mehr zu den Salzen rechnen, so ist dies unrecht. Die Haloidsalze zeigen, wie schon gesagt, mit den Sauerstoffsalzen so große Aehnlichkeit, daß man getrost den Begriff Salz weiter ausdehnen kann. Jene bilden sogar wie diese auch saure und basische Salze. In der Theorie allerdings findet zwischen beiden Klassen der Salze ein großer Unterschied statt, der aber in der Natur selbst nicht zu existiren scheint. Diesen Widerspruch suchte Dulong zu versöhnen. (Vergl. d. Art. Säuren.) Betrachtet man mit ihm die wasserhaltigen Sauerstoffsäuren als Wasserstoffsäuren, so herrscht auch in der Theorie der salzartigen Verbindungen dieselbe Harmonie wie in der Natur. Das Radical der Sauerstoffsäuren ist jetzt eben so gut ein Salzbilder wie das der Wasserstoffsäuren. Bringt man nun eine Säure mit einer Base zusammen, so wird in beiden Fällen durchaus derselbe Vorgang stattfinden; das Metall ersetzt den Wasserstoff und dieser verbindet sich mit dem Sauerstoff der Base zu Wasser. Der Unterschied und die Uebereinstimmung wird durch einige Beispiele klar werden. Betrachten wir das Schwefelsäurehydrat als Sauerstoffsäure oder schwefelsaures Wasserstoffoxyd, so ist die Formel $HO + SO^3$; für das schwefelsaure Natron als Sauerstoffsalz $Na O + SO^3$. Nach Dulong aber ist das Schwefelsäurehydrat Sulfanwasserstoff ($H + SO^4$) und das schwefelsaure Natron Sulfannatrium $Na + SO^4$. Diese Formeln sind ganz analog denen der Wasserstoffsäuren und der Salze derselben. Die Cyanwasserstoffsäure z. B. hat die Formel $H + Cy$ und das Cyannatrium $Na + Cy$.

In früherer Zeit existirte auch kein Unterschied in der Theorie, da man die

Haloidsalze eben auch für Sauerstoffsalze ansah. Man hielt eben die Salzsäure für eine Sauerstoffsäure. Allerdings hatte diese Ansicht darin einen Vorzug, daß zwischen den salzsauren Salzen, also den Chlormetallen und den Sauerstoffsäuren eine vollkommene Analogie herrschte. Dennoch sahen sich Thénard und Gay-Lussac genöthigt, diesen Einklang zu zerstören, da weder in dem salzsauren Gase, noch in dem sogenannten oxydirten salzsauren Gase (dem heutigen Chlore) Sauerstoff nachgewiesen werden konnte. Davy machte zuerst darauf aufmerksam, daß Chlor als ein einfacher Körper zu betrachten sei. Die letzte Stütze aber entzog Gay-Lussac durch seine meisterhafte Untersuchung über das Cyan, die Cyanwasserstoffsäure und die Cyanmetalle der älteren Ansicht, indem es klar wurde, daß Sauerstoff kein nothwendiger Bestandtheil sei, damit ein Körper alle die Eigenschaften habe, die wir den Salzen beilegen. Berzelius vertheidigte am längsten die Ansicht, daß alle Salze Sauerstoff enthielten. Erst um 1820 trat er zu der neuen Lehre über.

Berzelius unterscheidet neutrale, saure, basische, doppelte und dreifache Haloidsalze. Ein neutrales Haloidsalz entsteht, wenn 1 Aequivalent eines Haloids sich mit 1 Aeq. Metall vereinigt. Saure Haloidsalze entstehen, wenn ein neutrales Haloidsalz sich mit der Wasserstoffsäure des darin enthaltenen Salzbilders zu einem festen Salze verbindet. Die Zahl derselben ist jedoch nur klein. Es gehören dahin z. B. die Verbindung von Fluorkalium mit Fluorwasserstoffsäure und von Chlorgold mit Chlorwasserstoffsäure. Man nennt diese Verbindungen der Kürze wegen saures Fluorkalium, saures Chlorgold. Allgemeiner sind basische Haloidsalze, Verbindungen eines neutralen Haloidsalzes mit dem Oxyd des in dem Salze befindlichen Metalles. So z. B. verbindet sich Chlorblei mit Bleioxyd. Sind 2 At. des neutralen Haloidsalzes mit 1 At. Oxyd verbunden, so nennt man das Salz halbbasisch; ist 1 At. Haloidsalz mit 1 At. Oxyd verbunden, einfachbasisch; ist es mit 2 oder 3 At. Oxyd verbunden, zweifach- oder dreifachbasisch ꝛc. Diejenigen Metalle, die zweibasische Oxyde haben, geben auch immer zwei Haloidsalze, die den Oxyden (dem Oxydul und Oxyd) entsprechen. Gehen die Oxyde mit den Haloidsalzen basische Verbindungen ein, so tritt stets das Oxyd nur mit dem entsprechenden Haloidsalze zusammen, also ganz so wie bei den Sauerstoffverbindungen.

Doppelte Haloidsalze entstehen: 1) Durch zwei Haloidsalze, in welchen der Salzbilder ein und derselbe ist, deren Metalle aber entgegengesetzte elektrische Eigenschaften besitzen; so z. B. durch Fluorkalium und Fluorkiesel oder Chlorkalium und Chlorgold. Existirt nur eine Verbindung des Salzbilders mit dem Radical, so setzt man die Namen zusammen, wie z. B. Fluorkieselkalium, Fluorkalium ꝛc., giebt es aber mehrere Verbindungen, so setzt man die höhere Verbindung zuletzt und das elektronegative Salz gewöhnlich ans Ende, z. B. Kaliumplatinchlorür, Kaliumplatinchlorid; Kaliumeisencyanür, Kaliumeisencyanid. 2) Aus zwei Haloidsalzen, bei denen das Metall gemeinschaftlich, die Salzbilder aber verschieden sind, z. B. Fluorbarium und Chlorbarium (Chlorfluorbarium) oder Fluorblei und Chlorblei (Chlorfluorblei). Die Haloidsalze verbinden sich auch mit Sauerstoffsalzen zu Doppelsalzen. Solche sind z. B. das Bleihornerz ($Pb\,Cl + Pb\,O\,CO^2$), der Topas ($2\,At^2\,Fl^3 + 5\,At^2\,O^3\,Si\,O^3$). Sie können auch künstlich dargestellt werden. Hierher gehören die Doppelsalze von salpetersaurem Silber-

oxyd mit Cyanquecksilber und Cyansilber (Wöhler), von Quecksilbercyanid mit ameisensaurem Kali (Winkler) und von Chlorcalcium mit oxalsaurem und essigsaurem Kalk (Fritzsche).

Dreifache Haloidsalze (doppelte Doppelsalze) sind nur in sehr geringer Zahl bekannt. Sie entstehen, wenn zwei Doppelsalze, die ein Salz gemein haben, sich vereinigen. Hierher gehören die von Mosander entdeckten Verbindungen von Cyaneisenkalium mit anderen Cyaneisenmetallen.

Bonsdorf nennt Salze nur diejenigen Verbindungen, welche wenigstens drei Bestandtheile haben. Er betrachtet daher die einfachen Haloidsalze, weil sie nur zwei Bestandtheile haben, als Oxyde (Säuren oder Basen) und die Doppelsälze als einfache. Wenn auch das Kochsalz und andere einfache Haloidsalze mit dem Aetznatron insofern einige Aehnlichkeit zeigen, daß sie wie dieses nur zwei Bestandtheile enthalten, so läßt sich doch gegen diese Ansicht Manches geltend machen. Gerade die Chlorverbindungen der elektronegativsten Radicale, die mit dem Sauerstoff vorzugsweise Säuren bilden, sind am wenigsten geneigt, sich mit den Chlorüren der alkalischen Metalle zu verbinden, während dagegen andere Chlorverbindungen von geringerer elektrochemischer Verschiedenheit eben so leicht wie zwei Sauerstoffsalze Doppelverbindungen eingehen. Die Verbindungen der Sauerstoffsalze mit einem Haloidsalz lassen sich mit dieser Ansicht nicht leicht in Einklang bringen.

Die Amphidsalze bestehen aus einer Säure und einer Base. Sie sind also nicht aus einfachen Körpern zusammengesetzt, sondern in ihnen ist stets eine elektropositive Verbindung eines Basenbilders, nämlich eine Basis, verbunden mit einer elektronegativen Verbindung desselben Basenbilders. In beiden ist aber ein und dasselbe negative Element mit dem Radical verbunden; daher stammt auch der Name Amphidsalze (von ἄμφω, beide, doppelt, und εἴδω, erscheinen, aussehen), der wörtlich Doppelsalze bedeutet, weil das elektronegative Element doppelt darin enthalten ist. In den meisten Fällen wird letzteres durch den Sauerstoff repräsentirt, aber er kann auch ersetzt werden durch Schwefel, Selen, Tellur oder einen anderen elektronegativen Körper. Hiernach giebt es also verschiedene Klassen von Amphidsalzen, je nachdem ein Oxyd, Sulfuret, Seleniet oder Telluret mit einer Sauerstoffsäure, einem Sulfid, Selenid oder Tellurid verbunden ist. Man theilt die Amphidsalze darnach ein in Sauersalze, Schwefelsalze (Sulfosalze), Selensalze und Tellursalze.

Die größte Anzahl der Amphidsalze machen die Sauerstoffsalze (Oxysalia) aus. Sie sind neutral, basisch oder sauer. Ein neutrales Sauerstoffsalz ist ein solches, in welchem sich der Sauerstoff der Basis zu dem der Säure wie die Zahl der Sauerstoffatome in der Basis zu der Zahl der Sauerstoffatome in der Säure verhält. Die Basen verbinden sich immer mit so viel Aequivalenten Säure, als sie Aequivalente Sauerstoff enthalten. Eine Base also, die nur ein Aequivalent Sauerstoff enthält, bildet stets ein neutrales Salz mit einem Aequivalent Säure, wie viel Atome Sauerstoff diese auch enthalten mag; dagegen erfordert eine Base, welche zwei Atome Sauerstoff enthält, wie z. B. das Zinnoxyd ($Sn O^2$), stets zwei Aequivalente Säure und ein Oxyd mit drei Aequivalenten Sauerstoff, wie z. B. das Eisenoxyd ($Fe^2 O^3$), die Thonerde ($Al^2 O^3$), stets drei Aequivalente Säure zur Bildung eines neutralen Salzes. Es scheint jedoch, daß dieses Gesetz einige

Ausnahmen erleidet, denn Peligot hat gefunden *), daß mehrere Oxyde der Formel R^2O^3, z. B. das Uran- und Antimonoxyd, Salze bilden können, die sich den Neutralsalzen ähnlich verhalten und sich doch nur mit einem Aequivalent Säure verbinden.

In den basischen Salzen ist die Menge der Basis größer und zwar nach dem Gesetz der Multipeln; eben so in den sauren Salzen die Menge der Säure. So giebt es halb-, einfach-, zweifach-, dreifach-basische Salze; die Zahl drückt jedoch nicht die Multipeln von Basis aus, die mit der Säure verbunden sind, sondern nur diejenigen, die sich zu dem neutralen Salze hinzuaddirt haben. Eben so giebt es anderthalb, zweifach oder vierfach saure Salze, in denen die Basis mit $1^1/_2$, 2 oder 4 Mal so viel Säure verbunden ist wie im neutralen Salz. Die meisten sauren Salze können auch als neutrale betrachtet werden, wenn man annimmt, daß der Ueberschuß der Säure mit dem gleichzeitig in den Salzen enthaltenen Wasser, das auch die Rolle einer Base spielt, verbunden ist. So z. B. enthält das saure schwefelsaure Kali 1 Aeq. Wasser, das es selbst in der Hitze nicht abgiebt, ohne eine Zersetzung zu erleiden. Man kann daher mit Recht sagen, das saure schwefelsaure Kali besteht aus einer Verbindung zweier neutraler schwefelsaurer Salze, dem schwefelsauren Kali und dem schwefelsauren Wasser ($KO, SO^3 + HO, SO^3$). Führt man diese Ansicht allgemein durch, so bildet ein und dieselbe Säure nur eine einzige Reihe von Salzen, die alle ein und dieselbe Constitution haben und nicht durch die Natur der mit der Säure verbundenen Basen beeinträchtigt werden.

Bei den neutralen Salzen abstrahirt man jedoch ganz von dem Verhalten gegen Pflanzenfarben. Sie sind nur dann neutral gegen Pflanzenfarben und Geschmack, wenn sie entweder unlöslich sind oder wenn die Basis und die Säure ungefähr gleiche Mächtigkeit besitzen. Ist die Base sehr stark, z. B. ein Alkali, und die Säure schwach, z. B. Kohlensäure oder Borsäure, so waltet die alkalische Reaction vor; ist umgekehrt die Säure verhältnißmäßig stärker, so reagirt das Salz sauer, wie z. B. das schwefelsaure Kupfer- und Eisenoxyd. Eben so besitzen nicht alle sauren Salze eine saure Reaction; einige sind neutral, andere reagiren selbst alkalisch, wie das doppelt kohlensaure Kali und zweifach borsaure Natron. Die Unterschiede der neutralen, sauren und basischen Salze treten überhaupt nur deutlich hervor bei den Salzen, welche durch Vereinigung einer starken Base mit einer starken Säure hervorgehen. Weniger entschieden treten sie hervor bei den Salzen, welche durch Vereinigung starker Basen mit schwachen Säuren oder starker Säuren mit schwachen Basen gebildet werden. Noch mißlicher steht es mit ihnen, sobald die Säure oder die Base oder die Verbindung beider in Wasser unlöslich ist. Diese Eintheilung der Salze ist zwar noch allgemein gebräuchlich, aber sie ruht doch auf so schwachen Grundlagen, daß schon von manchen Seiten die Forderung laut geworden ist, sie ganz aufzugeben.

Doppelsalze sind solche, in denen entweder eine Säure mit zwei Basen oder eine Base mit zwei Säuren, oder verschiedene Säuren mit verschiedenen Basen verbunden sind. Hierher gehört z. B. der Alaun ($KO, SO^3 + Al^2O^3, 3\,SO^3$). Die Salze verbinden sich keineswegs ohne Unterschied mit einander. In der Regel enthalten die sich vereinigenden Salze gleiche Säurebilder; so gehen stets nur

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLI. S. 388.

Sauerstoffsalze mit Sauerstoffsalzen, Schwefelsalze mit Schwefelsalzen Verbindungen ein. In der Constitution findet keine Aehnlichkeit mit den einfachen Salzen statt; man kann bei den Doppelsalzen nicht sagen, das eine Salz spiele die Rolle einer Säure und das andere die einer Basis. Ein Doppelsalz kann durch den elektrischen Strom nicht in die dasselbe bildenden Salze zerlegt werden.

Schon bei den Säuren haben wir gesehen, daß die Menge der verschiedenen Basen, welche zur Sättigung einer bestimmten Säure erforderlich sind, in einem bestimmten Verhältniß steht zu den Mengen derselben Basen, die zur Sättigung einer anderen Säure erforderlich sind. Man kann daher, wenn nur die Mengen der Bestandtheile in einigen Salzen bekannt sind, einen ziemlich sichern Schluß auf ihre Mengen in anderen, noch nicht untersuchten Salzen machen. Ist einmal die Sättigungscapacität einer Säure bekannt, so kann man leicht berechnen, wie viel die Säure von jedem Oxyde, dessen Sauerstoffgehalt bekannt ist, aufnehmen kann, um damit eine neutrale Verbindung zu bilden. Ferner kann man, wenn die Sättigungscapacität einer Säure bekannt ist, aus der Menge der Basis in der neutralen Verbindung den Sauerstoffgehalt in dem Oxyde berechnen. Diese Berechnungen sind oft sicherer wie direct durch die Analyse gefundene Resultate. Nur den Gehalt an Krystallwasser kann man nicht im Voraus berechnen.

Wenn schon jede Säure mit jeder Base ein Salz geben kann, so finden doch einige Ausnahmen statt. Einige Chemiker theilen die Salze nach den Säuren, andere nach den Basen ein. Die größte Zahl der Salze, die der Erden und Metalle, werden aber zumeist durch die Basis und nicht durch die Säure charakterisirt.

In den Schwefelsalzen (Sulphosalia), die 1825 von Berzelius *) entdeckt worden sind, spielen die Schwefelverbindungen der elektropositiven Metalle welche den basischen Oxyden entsprechen, die Rolle der Basen, die Schwefelverbindungen der elektronegativen Metalle, die in der Zusammensetzung den Säuren ähnlich sind, die Rolle der Säuren. Erstere nennt man daher Sulfobasen, letztere Sulfosäuren. Die Verhältnisse, in denen beide sich verbinden, sind ganz dieselben wie bei den Sauerstoffsalzen. Könnten wir den Schwefel durch eine gleiche Anzahl Sauerstoffatome ersetzen, so würde aus dem Schwefelsalz ein Sauerstoffsalz entstehen. Gleich den elektropositiven Oxyden vereinigen sich auch die elektropositiven Schwefelverbindungen, z. B. Schwefeleisen mit Schwefelkupfer. Meistens entsprechen sie den Doppelsalzen.

Die Schwefelsalze können auf verschiedene Art dargestellt werden. 1) Man zersetzt die Auflösung eines von Metallsäuren gebildeten Sauerstoffsalzes durch Schwefelwasserstoff oder Ammoniumsulfhydrat. 2) Man sättigt eine Lösung von Schwefelkalium mit dem elektronegativen Schwefelmetall. Dieses Salz kann dazu dienen, um durch doppelte Zersetzung mit einem Sauerstoffsalze, mit irgend einer anderen Salzbasis, das Radical derselben in den Zustand eines Schwefelsalzes zu versetzen. 3) Man löst das elektronegative Schwefelmetall in einer Auflösung von Kaliumsulfhydrat; hierbei entweicht Schwefelwasserstoff mit Aufbrausen, gerade wie wenn die Kohlensäure durch eine andere stärkere Säure ausgetrieben wird. 4) Man löst das metallische Sulfid in caustischem Alkali. Ein Theil des Metalles

*) Pogg. Ann. Bd. VI. S. 425; Bd. VII. S. 1. 137 u. 261; Bd. VIII. S. 267 und 411.

oxydirt sich hierbei auf Kosten des Kalis zu Säure, die sich wiederum mit einem Theile des Kalis verbindet. Das reducirte Kalium verbindet sich mit dem Schwefel des oxydirten Metalles zu Schwefelkalium, welches dann mit dem unzersetzten Schwefelmetall in Verbindung tritt. Das Schwefelsalz ist hier also mit einem Sauerstoffsalz gemengt. 5) Auch auf trockenem Wege können Schwefelsalze dargestellt werden durch Erhitzen des elektronegativen Schwefelmetalles mit kohlensaurem Alkali. Indem die Kohlensäure ausgetrieben wird, wirkt das Alkali auf den Schwefel gerade so wie auf nassem Wege; es vertauscht einen Theil seines Sauerstoffs mit Schwefel. Die geschmolzene Masse bildet ein Gemenge eines Sauerstoffsalzes, bestehend aus Kali und der Metallsäure, mit dem Schwefelsalze, aus Schwefelkalium und dem Schwefelmetall bestehend. Meistens können beide durch Auflösung und Krystallisiren getrennt werden.

Die nach 2) und 3) bereiteten Schwefelsalze werden durch Säuren zersetzt, wobei Schwefelwasserstoff entweicht und Schwefelmetall niederfällt. Die nach 4) und 5) bereiteten Schwefelmetalle werden durch Säuren so zersetzt, daß das elektronegative Schwefelmetall niederfällt, ohne daß sich Schwefelwasserstoff entwickelt.

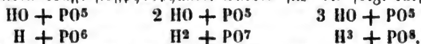
Auch in der Natur kommen verschiedene Schwefelsalze vor, z. B. Kupferkies (Fe^2S^3, Cu^2S), Buntkupfererz ($Fe^2S^3, 3\,Cu^2S$), Sprödglanzerz ($6\,AgS, SbS^3$), dunkles Rothgiltigerz ($3\,AgS, SbS^3$), Miargyrit (AgS, SbS^3), Boulangerit ($3\,PbS, SbS^3$), Federerz ($2\,PbS, SbS^3$), Zinkenit (PbS, SbS^3).

Es existiren noch einige Chlorverbindungen, die man als Chlorsalze, also bestehend aus einem elektropositiven Metallchlorür (der Chlorobase) und einem elektronegativen Metalloide oder Metallchlorür (der Chlorosäure), ansehen kann. Diese Verbindungen sind jedoch wenig zahlreich und bis jetzt wenig beachtet. — Es ist wahrscheinlich, daß sich eine Sauerstoffsäure auch mit einer Sulfo- oder Chlorobase verbinden kann und eben so eine Sulfo- oder Chlorosäure mit einer Sauerstoffbase; doch sind solche Verbindungen mit Sicherheit noch nicht bekannt.

Es ist nicht zu leugnen, daß die von Davy zuerst aufgestellte Binärtheorie große Vortheile bietet. 1) Hebt sie, wie schon angeführt, die Unterschiede zwischen den Haloid- und Amphidsalzen auf, indem sie auch die Constitution dieser Körper, die in ihren Eigenschaften so große Aehnlichkeit haben, gleichfalls ähnlich macht. Ja man kann sogar noch weiter gehen und selbst die Säuren mit in diese Klasse hineinziehen, da jene hiernach eine gleiche Constitution besitzen. So ist z. B. die Chlorwasserstoffsäure das Chlorür des Wasserstoffs, während das Chlornatrium (Kochsalz) das Chlorür des Natriums ist. Eben so sind das Schwefelsäurehydrat und das schwefelsaure Natron die Sulfanüre des Wasserstoffs und des Natriums. 2) Sie erklärt das merkwürdige Gesetz, nach welchem sich die Basen mit den Säuren zu neutralen Salzen verbinden. 3) Giebt sie eine einfachere und naturgemäßere Erklärung von der Wirkung gewisser Metalle bei der Auflösung in Säuren und von der Zersetzung solcher Auflösungen. Bei der Auflösung von Zink in Chlorwasserstoffsäure wird einfach der Wasserstoff ersetzt und es bildet sich demnach Chlorzink; nach der Binärtheorie ist der Vorgang bei Sauerstoffsäuren derselbe. In der Schwefelsäure oder vielmehr dem Sulfanwasserstoff tritt das Zink einfach an die Stelle des Wasserstoffs. Allerdings kann das Zink in dem Wasser bei gewöhnlicher Temperatur den Wasserstoff nicht zersetzen, d. h. zerlegen; aber diese Thatsache steht der eben gegebenen Erklärung nicht entgegen, da das

Zink eine größere Verwandtschaft zum Sulfan als zum Sauerstoff haben kann. Viel gezwungener ist die Erklärung für die ältere Ansicht, nach der das Zink bei der Auflösung in Schwefelsäure das Wasser zersetzen soll. Eben so einfach ist nach der Binärtheorie die Erklärung der Zersetzung einer Salzlösung durch den galvanischen Strom. Wasserstoffoxyd und Wasserstoffsulfanid sind beide binäre Elektrolyte; sie werden auf gleiche Weise zerlegt, jedoch nicht mit derselben Leichtigkeit. Das beiden gemeinschaftliche Element, der Wasserstoff, geht an den negativen Pol und der Sauerstoff und das Sulfan an den positiven. Das Sulfan findet hier Wasser und verwandelt sich in Sulfanwasserstoff, während freier Sauerstoff sich abscheidet. Eben so leicht ist die Erklärung für die Zerlegung der Salze, während man nach der älteren Ansicht annimmt, daß gleichzeitig eine doppelte Zersetzung stattfindet, die des Salzes in Säure und Base und des Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff. Hierbei bleibt immer die Wirkung der Säure, die Zersetzung des Wassers einzuleiten, unerklärt. 4) Erklärt sie sehr leicht die Zersetzung der Sauerstoffsalze durch die Haloidsalze in Folge doppelter Affinität; z. B. die des Chlorbaryum durch schwefelsaures Kali: $Ba\,Cl + K, SO^4 = Ba, SO^4 + Cl\,K$. Baryum und Kalium wechseln in der Formel einfach den Platz.

Gegen diese Vortheile werden von anderer Seite folgende Einwendungen gemacht: 1) Die große Mißlichkeit, ein ganzes Heer von hypothetischen Salzradicalen annehmen zu müssen. 2) Hält man die Eigenthümlichkeit der Salze der Phosphorsäure unverträglich mit dieser Theorie. Dieser Einwurf wäre schon zu überwinden, denn gerade die Binärtheorie giebt einigermaßen Rechenschaft über die drei isomeren Zustände der Phosphorsäure. Freilich fordert sie für jede der drei Salzgruppen ein besonderes Radical. Die drei Phosphorsäurehydrate und die entsprechenden Wasserstoffphosphanide würden sich wie folgt darstellen.



$$HO + PO^5 \qquad 2\,HO + PO^5 \qquad 3\,HO + PO^5$$
$$H + PO^6 \qquad H^2 + PO^7 \qquad H^3 + PO^8.$$

3) Giebt es Sauerstoffsäuren, von denen keine Verbindungen mit einem At. Wasser bekannt sind, z. B. die Kohlensäure, Chromsäure. 4) Wollte man die Binärtheorie in ihrer ganzen Consequenz verfolgen, so würde eine vollständige chemische Sprachverwirrung die unausbleibliche Folge sein. 5) Existiren Basen, die sich mit 1, 2 und auch 3 At. ein und derselben Säure verbinden; man wäre also genöthigt für diese Salze, die doch aus derselben Base und derselben Säure, wenn auch in anderen Verhältnissen, bestehen, verschiedene Salzradicale anzunehmen. 6) Wenn alle Wasserstoffverbindungen, welche sich mit Metalloxyden in Wasser und in die Verbindung ihres Radicals mit dem Metall zersetzen, Säuren sind, so gehört auch Phosphor- und Arsenikwasserstoff und sogar das Ammoniak NH^3 zu den Säuren. Letzteres zersetzt sich nämlich mit Quecksilberoxyd nach folgender Formel: $3\,Hg\,O$ und $NH^3 = 3\,HO$ und Hg^3N. 7) Ist es sehr unwahrscheinlich, daß Metalle, die eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff besitzen, wie z. B. Kalium, neben den Radicalen SO^4, NO^6 ꝛc. bestehen können, ohne diesen Sauerstoff zu entziehen. 8) Hört mit der Binärtheorie der sonst gebräuchliche Unterschied zwischen den unorganischen und organischen Säuren auf; erstere sollten ein einfaches Radical, letztere ein zusammengesetztes enthalten.

Die Bedenken scheinen doch größer zu sein, als die Vortheile, da selbst die eifrigsten Verfechter der Binärtheorie dieselbe nicht strenge bis ins Einzelne durchgeführt haben. Dieses hat auch seine großen Schwierigkeiten, da man die Nomen-

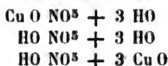
clatur der ältern Ansicht, über die man das Nähere in Berzelius Lehrbuch der Chemie. 3. Aufl. Bd. X. S. 428 findet, nicht vermeiden kann.

Wir haben noch mehrere Gruppen von Sauerstoffsalzen zu unterscheiden, die nach der gewöhnlichen Ansicht ein, zwei oder drei Aequivalente Base auf ein Aequivalent Säure enthalten. 1) Einbasische Salze. Die meisten Säuren neutralisiren nur ein Aequivalent Base und bilden demnach nur einbasische Salze. Dessen ungeachtet kann aber dieselbe Säure zwei Reihen von Salzen mit derselben Base oder mit derselben Gruppe von isomorphen Salzen bilden. So z. B. existiren zwei Gruppen von Schwefelsäure-Salzen der zur Magnesiaklasse gehörenden Oxyde, die hinsichtlich der Menge des chemisch gebundenen Wassers wesentlich verschieden sind. Die einen bilden mit schwefelsaurem Kali Doppelsalze, die anderen nicht. 2) Zweibasische Salze. Lange Zeit waren die pyrophosphorsauren Salze als die einzigen dieser Art bekannt. Die neueren Fortschritte in der organischen Chemie haben eine große Zahl von zweibasischen Säuren zu Tage gefördert. Die beiden Aequivalente, die diese Säuren zu ihrer Sättigung bedürfen, können auch verschiedenen Basen angehören, wie z. B. in dem sogenannten Seignette-Salz, dem weinsteinsauren Natron, Kali: $KO\,NaO + C^8H^8O^{10}$. Berzelius läßt, mit Ausnahme der pyrophosphorsauren Salze, keine zweibasischen Salze gelten. 3) Dreibasische Salze. Den Typus dieser Abtheilung bilden die Salze der gewöhnlichen Phosphorsäure. Ferner gehören hierher die Salze der Arsensäure, der Cyanursäure und Mekonsäure. Zwei von den drei Aequivalenten Base können bei diesen Salzen verschieden sein oder es können auch alle drei verschieden sein, wie z. B. im phosphorsauren Natron-Ammoniak, welches zugleich Natron, Ammoniak und Wasser als Basen enthält. Eben so können zwei oder mehrere dieser Basen zugleich isomorph sein.

Die Salze sind entweder wasserfrei oder sie verbinden sich in gewissen Verhältnissen mit Wasser, welches allgemein Krystallwasser genannt wird. Die Menge Krystallwasser, welche ein und dasselbe Salz, wenn es bei derselben Temperatur aus einer gleichen Lösung krystallisirt, aufnimmt, ist stets dieselbe. Sie steht in einem einfachen Verhältniß zu den Aequivalenten der Säure und der Base, die gleichzeitig in die Verbindung eingetreten sind. Sobald aber die Temperatur, bei der die Salze krystallisiren, eine verschiedene ist, so nehmen viele Salze eine verschiedene Menge Krystallwasser auf, wenn auch die Lösung, aus der sie krystallisiren, dieselbe ist. Das schwefelsaure Natron z. B. schießt bei einer Temperatur unter 33° mit 10 Aeq. Wasser an, während es bei einer Temperatur über 33° sich wasserfrei abscheidet. Das schwefelsaure Manganoxydul schießt bei einer Temperatur unter + 6° mit 7 At. Wasser an; zwischen + 6° und + 20° krystallisirt enthält es 6 At. Wasser und zwischen 20 und 30° nimmt es nur 4 At. Wasser auf. Diese verschiedenen Krystalle besitzen verschiedene Formen, die nicht mit einander zu vereinbaren sind; ein deutlicher Beweis dafür, daß das Krystallisationswasser eben so bedingend für die Krystallform ist, wie die übrigen Bestandtheile der Salze. Bei höherer Temperatur geht das Krystallwasser nach und nach fort. Je niedriger die Temperatur ist, bei der dies geschieht, um so geringer war die Verwandtschaft, mit der das Wasser festgehalten wurde. So giebt z. B. das schwefelsaure Manganoxydul mit 7 At. Wasser 1 At. desselben bereits bei + 10° ab; es verwandelt sich also in das Salz, welches bei dieser Temperatur anschießt. Eben so geht das Salz mit 6 At. Wasser bei + 30° in das mit 4 At. Wasser über.

Bei 100° gehen noch 3 At. Wasser fort; das vierte aber wird mit größerer Kraft zurückgehalten und wird nur bei 250° ausgetrieben. Mitunter werden durch die Entziehung des Krystallwassers die Constitution und die chemischen Eigenschaften des Salzes gänzlich geändert. So z. B. besitzt das gewöhnliche phosphorsaure Natron, wenn es bei niederer Temperatur krystallisirt, die Formel $2\,NaO,\,PO^5 + 25\,HO$. Schon beim Liegen an der Luft verliert dies Salz einen Theil des Wassers. Bei 30° krystallisirt es mit 17 At. Wasser, von denen bei gewöhnlicher Temperatur nichts fortgeht. Bei 150° jedoch wird das Wasser bis auf 1 At. ausgetrieben. Werden die verschiedenen Salze jedoch wieder in Wasser gelöst, so schießt das Salz bei niederer Temperatur stets wieder mit 25 At. Wasser an. Durch den verschiedenen Wassergehalt wird das Salz also nicht wesentlich verändert. Sobald man es aber glüht, so geht auch das letzte Atom Wasser fort und dann sind Constitution und chemische Eigenschaften wesentlich andere. Dies letzte Atom Wasser spielt also in dem Salze eine wichtigere Rolle als die anderen; man nennt es daher Constitutionswasser.

Die sogenannten basischen Salze scheinen Salze zu sein, in denen das Wasser durch ein Metalloxyd ersetzt ist. Sie sind dann, wie schon oben von den sauren Salzen angeführt wurde, wirkliche neutrale Salze, da der Ueberschuß an Metalloxyd nicht als Base vorhanden ist. So können z. B. das krystallisirte salpetersaure Kupferoxyd, das Salpetersäurehydrat von 1,42 specifischem Gewicht und das sogenannte basische salpetersaure Kupferoxyd durch die Formeln



$$CuO\,NO^5 + 3\,HO$$
$$HO\,NO^5 + 3\,HO$$
$$HO\,NO^5 + 3\,CuO$$

bezeichnet werden. Die 3 Aeq. Wasser, welche alle Salpetersäure-Salze der Magnesia-Klasse enthalten und hier in dem basischen salpetersauren Kupfer durch 3 Aeq. Kupferoxyd vertreten werden, sind also Constitutionswasser. Wasser, Kupferoxyd und Bleioxyd sind besonders befähigt, sich in dieser Art mit Salzen zu verbinden. Das Constitutionswasser wird bisweilen durch ein Salz vertreten, was niemals bei basischem Wasser stattfindet. Dann nennt man es Halhydratwasser. Auch Ammoniak und gewisse wasserfreie Säuren können das Constitutionswasser vertreten.

Bei der Bildung der Doppelsalze scheint gleichfalls ein Salz an die Stelle des Constitutionswassers zu treten. So z. B. nimmt die schwefelsaure Talkerde ein Aequivalent schwefelsaures Kali an die Stelle von 1 Aeq. Wasser auf, welches fester an sie gebunden ist als die übrigen sechs, die sie noch außerdem enthält. Hiernach wäre in der schwefelsauren Talkerde selbst schon der Grund zur Bildung eines Doppelsalzes vorhanden, denn durch die Aufnahme des schwefelsauren Kalis tritt keine Veränderung in der Anordnung der Moleküle ein. Eben so wird in dem Schwefelsäurehydrat von 1,78 spec. Gewicht ein Aequivalent Wasser durch schwefelsaures Kali vertreten, wenn es sich in zweifach schwefelsaures Salz umwandelt. Die Doppelsalze entstehen also durch Substitution, aber nicht alle, denn andere entstehen durch eine einfache Verbindung zweier Salze. In letzteren ist der Charakter der sie bildenden Salze sehr wenig verändert worden.

Diejenigen Salze, welche sehr viel Krystallwasser enthalten, wie z. B. das schwefelsaure Natron mit 55,77 Proc., das phosphorsaure Natron mit 60,18 Proc.

das kohlensaure Natron mit 66,08 Proc. Wasser, schmelzen sehr oft oder zerfließen, richtiger gesagt, sobald man sie mäßig erwärmt. Man nennt dies eine wässerige Schmelzung. Man kann die geschmolzene oder zerflossene Masse als eine Auflösung des wasserfreien Salzes in dem Krystallwasser ansehen. Setzt man die Erwärmung fort, so entweicht nach und nach das Krystallwasser, die Masse wird trocken und verstärkt man nun die Hitze, so tritt erst die eigentliche Schmelzung ein, vorausgesetzt, daß das Salz die Temperatur ertragen kann, ohne zersetzt zu werden.

Gewisse wasserfreie Salze bewirken kleine Detonationen, sobald man die Krystalle auf glühende Kohlen wirft oder überhaupt erhitzt, wie wir dies schon vom Kochsalz angeführt haben. Man nennt dies decrepitiren. Die Ursache liegt oft in einer kleinen Menge von Wasser, das zwischen den Krystalllamellen eingeschlossen ist. Das Wasser verwandelt sich beim Erhitzen in Dampf und sprengt die Krystalle aus einander. Oft aber werden diese Zerklüftungen auch durch die schlechte Leitungsfähigkeit, welche die Salze für die Wärme haben, bewirkt.

Bei gewöhnlicher Temperatur sind die Salze fast alle fest. Einige ziehen jedoch die Feuchtigkeit der Luft so begierig an, daß sie sehr bald zerfließen. Die Verbindungen einer farblosen Säure mit einer farblosen Base sind stets farblos. Die Salze, welche eine gefärbte Base mit einer farblosen Säure bildet, sind theils gefärbt, theils farblos; die einer gefärbten Säure mit einer farblosen Base sind jedoch stets gefärbt. Oft sind die Salze mit Krystallwasser gefärbt, während sie im wasserfreien Zustande farblos sind, wie z. B. die Kupferoxydsalze und Eisenoxydulsalze. Andere Salze wiederum, wie z. B. die Kobalt- und Nickeloxydulsalze, besitzen im wasserhaltigen Zustande eine andere Farbe wie im wasserfreien; andere, wie z. B. die Chromoxydsalze, besitzen im krystallisirten Zustande eine andere Farbe wie ihre Lösungen. — Der Geschmack der löslichen Salze hängt zumeist von der Base ab, bei einigen jedoch auch von der Säure.

Die Kenntniß der Löslichkeit der verschiedenen Salze in verschiedenen Flüssigkeiten ist von sehr großer Wichtigkeit, da sie uns die Mittel an die Hand giebt, verschiedene Salze, sobald sie zusammen vorkommen, von einander zu trennen. Man hat z. B. eine Lösung, in der salpetersaures Kali und Kochsalz enthalten sind. Beide Salze sind gleich löslich bei 23°,6. Unterhalb dieser Temperatur ist der Salpeter weniger löslich als das Kochsalz; bei einer höheren Temperatur tritt jedoch das umgekehrte Verhältniß ein. Dampft man die Lösung daher bei einer Temperatur unter 23°,6 ab, so schießt zuerst der Salpeter an, erhöht man dagegen die Temperatur, so wird das Kochsalz früher krystallisiren. Oft beruht auch die Darstellungsmethode auf der Verschiedenheit der Löslichkeit, namentlich bei Zersetzungen. Ein bemerkenswerthes Beispiel bilden z. B. Kochsalz und schwefelsaure Magnesia. Dampft man die Lösung bei einer Temperatur über 12° ab, so krystallisirt das Kochsalz heraus und die schwefelsaure Magnesia bleibt in der Lösung. Bei 7 oder 8° jedoch, oder noch besser wenn man die Lösung, die bei + 15° gesättigt worden ist, bis auf 0° erkaltet, erhält man Krystalle von schwefelsaurem Natron, während Chlormagnesium gelöst bleibt.

Das allgemeinste und wichtigste Lösungsmittel für die Salze ist das Wasser. Eine große Zahl derselben wird dadurch gelöst und oft in beträchtlichen Mengen. Einige Salze lösen sich auch in Alkohol und Holzgeist; gemeinhin sind es die-

jenigen, die im Wasser sehr leicht löslich sind. (Vergl. d. Art. **Auflösung**, Bd. I. S. 568 und **Lösung**, Bd. IV. S. 647.)

Die Salzlösungen kochen bei einer höheren Temperatur wie reines Wasser. Der Unterschied für ein und dasselbe Salz ist um so größer, je mehr davon in der Lösung enthalten ist. Der Dampf selbst besitzt jedoch auch hier stets die Temperatur von 100°. Im Folgenden sind die Siedepunkte für einige Lösungen zusammengestellt.

	In 100 Th. Wasser sind gelöst	Siedepunkt
Chlorsaures Kali . . .	61,5	104°,2
Chlorbaryum	60,1	104°,4
Kohlensaures Natron . .	48,5	104°,6
Chlorkalium	49,4	108°,3
Chlornatrium	41,2	108°,4
Chlorammonium . . .	88,9	114°,2
Salpetersaures Kali . .	335,1	115°,9
Chlorstrontium . . .	117,5	117°,8
Salpetersaures Natron .	224,8	121°,0
Kohlensaures Kali. . .	205,0	135°,0
Salpetersaurer Kalk . .	362,0	151°,0
Chlorcalcium	325,0	179°,5.

Beim Auflösen der Salze in Wasser findet bald eine Erhöhung, bald eine Erniedrigung der Temperatur statt. (Vergl. d. Art. **Kältemischungen**, Bd. IV. S. 174.)

In Bezug auf die Einwirkung der Säuren auf die Salze hat die Erfahrung verschiedene allgemeine Gesetze festgestellt. Ist die Säure dieselbe, welche bereits im Salze enthalten ist, so verbindet sich das Salz oft mit einer neuen Menge der Säure zu einem sauren Salze. Geht die Base des Salzes indessen eine solche Verbindung nicht ein, so löst sich das Salz in der Säure, besonders wenn diese mit vielem Wasser verdünnt ist; beim Abdampfen aber krystallisirt das Salz unverändert.

Ist die Säure aber eine verschiedene, so findet unter mehreren Umständen eine Zersetzung statt. 1) Wenn das Salz in Wasser löslich ist und die Säure mit der Base des Salzes eine unlösliche oder weniger lösliche Verbindung eingeht. Sind beide Salze, das ursprüngliche und das, was gebildet werden könnte, gleich löslich, so läßt es sich nicht entscheiden, ob eine Zersetzung stattfindet oder nicht. Gießt man z. B. Schwefelsäure in die Lösung eines Barytsalzes, so scheidet sich sofort schwefelsaurer Baryt ab. Eine Lösung von Salpeter bleibt scheinbar bei Zusatz von Schwefelsäure unverändert und doch findet eine Zersetzung statt. Dampft man die Lösung ab, so schießt schwefelsaures Kali an, weil es weniger löslich ist als der Salpeter, besonders bei höherer Temperatur. Eben so kann aber auch die Salpetersäure das schwefelsaure Kali zersetzen; d. h. bei niederer Temperatur, da bei 0° das salpetersaure Kali weniger löslich ist, als das schwefelsaure. 2) Wird die Zersetzung bedingt durch die Unlöslichkeit der Säure, die in dem Salze enthalten ist. So wird z. B. die Borsäure aus den Lösungen ihrer Salze durch stärkere Säuren (Schwefelsäure, Salpetersäure) abgeschieden. Ist die Lösung so verdünnt, daß die Borsäure gelöst bleibt, so kann die Zersetzung doch durch

Lackmuspapier nachgewiesen werden. Die Borsäure röthet solches nur sehr schwach, die Schwefel- und Salpetersäure hingegen sehr stark. 3) Findet eine Zersetzung statt, wenn die Säure weniger flüchtig ist als die in dem Salze enthaltene. So wird z. B. die Kohlensäure, welche bei gewöhnlicher Temperatur gasförmig ist, sehr leicht von anderen Säuren ausgetrieben; ferner die Salpetersäure durch die weniger flüchtige Schwefelsäure und diese wiederum durch die Phosphorsäure, d. h. in der Hitze, und selbst durch die Borsäure, deren Salze sie doch bei gewöhnlicher Temperatur zerlegt. Die Kieselsäure ist eine so schwache Säure, daß sie aus den Lösungen ihrer Verbindungen selbst durch die Kohlensäure ausgetrieben wird, während sie in der Hitze alle anderen Säuren austreibt. Neben der Concentration der Säure und der Temperatur hat aber auch das Lösungsmittel einen Einfluß auf diese Zersetzungen. Während die Essigsäure die Kohlensäure aus den wässerigen Lösungen ihrer Verbindungen austreibt, findet das Umgekehrte z. B. beim essigsauren Kali statt, sobald es in Alkohol gelöst ist, weil das kohlensaure Kali in concentrirtem Alkohol unlöslich ist. 4) Sind beide Säuren, die einwirkende und die in dem Salze enthaltene, gasförmig, wenig löslich in Wasser und ihre Verwandtschaft zu den Basen beinahe gleich, so treibt die, welche in größerer Menge vorhanden ist, die andere aus. So kann man z. B. ein Schwefelkali durch Kohlensäure zersetzen und umgekehrt ein kohlensaures Salz durch Schwefelwasserstoff. Wasserdampf treibt bei höherer Temperatur die Kohlensäure aus, eben so aber auch die Kohlensäure das Wasser.

Läßt man eine Base auf ein Salz einwirken, so findet sehr oft keine Veränderung statt, sobald die Säure mit der Base eben keine andere Verbindung eingehen kann. Ist die Base eine andere, so findet sehr oft eine Zersetzung statt. Die Ursachen sind hier ähnliche, wie wir sie bereits bei der Zersetzung der Salze durch Säuren angegeben haben. — Bringt man zwei verschiedene Salze zusammen, so verbinden sie sich entweder zu einem Doppelsalz, oder sie vereinigen sich nicht, so daß sie durch Krystallisation wieder von einander geschieden werden können, oder sie zersetzen sich gegenseitig. Im letzteren Falle hat man den sogenannten trocknen Weg, indem man die Salze bei Zutritt der Luft erhitzt, und den nassen, wo die Lösungen beider auf einander wirken, zu unterscheiden. Auch hier giebt es wieder allgemeine Bedingungen, die sich geltend machen.

Erhitzt man zwei Salze, in denen die Säure gemeinschaftlich, aber die Basen verschieden sind, so verbinden sich beide oft in bestimmten Verhältnissen zu einem Doppelsalz, das beim Erkalten krystallisirt. Oft aber scheiden sich beide Salze auch wieder gesondert ab, wenn man die geschmolzene Masse in Wasser auflöst. Sind Basen und Säuren verschieden, so findet eine Zersetzung statt, sobald die eine der neuen Verbindungen flüchtiger ist wie die beiden ursprünglichen. Erhitzt man z. B. Chlorammonium und kohlensauren Kalk, so bildet sich kohlensaures Ammoniak und Chlorcalcium. Oft sind diese Zersetzungen ganz entgegengesetzt denen, die sich auf nassem Wege bilden.

Auf nassem Wege findet eine Zersetzung statt, sobald sich ein unlösliches Salz bilden kann oder sobald die eine der neuen Verbindungen weniger löslich ist. Hat man z. B. eine Auflösung, die salpetersaures Natron und Chlorkalium enthält, so kann man bei niederer Temperatur beide Salze unverändert für sich krystallisiren lassen. Bei der Siedhitze findet jedoch eine Zersetzung statt; Chlornatrium scheidet sich aus, und salpetersaures Kali bleibt gelöst. Die Temperatur

hat einen sehr großen Einfluß auf diese Zersetzungen, da davon die Löslichkeitsverhältnisse abhängen. Hat man z. B. eine Lösung, welche Schwefel- und Salzsäure und Natron und Magnesia enthält, so ist es unmöglich zu entscheiden, wie hier die Säuren mit den Basen verbunden sind. Man kann entweder Chlornatrium und schwefelsaure Magnesia, oder schwefelsaures Natron und Chlormagnesium oder Chlornatrium und Chlormagnesium neben schwefelsaurem Natron und schwefelsaurer Magnesia annehmen. Dampft man die Lösung bei einer Temperatur über 15° ab, so krystallisirt ein großer Theil des Chlornatriums heraus und später erst die schwefelsaure Magnesia mit dem Rest des Kochsalzes. Bei 0° erhält man jedoch schwefelsaures Natron, während Chlormagnesium gelöst bleibt. Oft kann man die Ausscheidung des einen Salzes auch bewirken, wenn man das Lösungsmittel ändert. Gießt man z. B. die Lösungen von essigsaurem Kali und Chlorcalcium zusammen, so findet keine Veränderung statt; sobald man aber eine genügende Menge Alkohol hinzuthut, scheidet sich Chlorkalium aus, während der essigsaure Kalk aufgelöst bleibt. Aus der Ordnung, in welcher sich die Salze abscheiden, kann man jedoch nicht mit Sicherheit schließen, wie sie in der Lösung enthalten gewesen sind, da man annehmen kann, daß diese Salze erst in dem Augenblick entstehen, wo sie krystallisiren, denn erst jetzt sind die Bedingungen zu ihrer Entstehung gegeben.

Es giebt jedoch Fälle, in denen man mit einiger Sicherheit entscheiden kann, wie die Salze in den Auflösungen vorhanden sind; sobald man nämlich Salze mit einander mischt, deren eine Base mit beiden Säuren farblose, deren andere aber gefärbte Salze und zwar von sehr verschiedenen Farben bildet. Mischt man z. B. eine Auflösung von schwefelsaurem Eisenoxydul mit einer solchen von essigsaurem Natron, so färbt sich die Flüssigkeit braun, weil eine Zersetzung beider Salze vor sich gegangen ist.

Mitunter kann man auch ein unlösliches Salz dadurch zersetzen, daß man es längere Zeit mit einem löslichen Salze kocht, sobald nämlich die Base des ersteren ein unlösliches Salz mit der Säure des letzteren bilden kann. Soll die Zersetzung indessen vollständig gelingen, so muß man einen großen Ueberschuß des löslichen Salzes anwenden. Auf trocknem Wege kann man indessen diese Zersetzung viel leichter bewerkstelligen.

Literatur. Gilbert's Annalen. Kirwan, Verhältniß der Bestandtheile der neutralen Salze. Bd. XI. S. 266 u. 287. Berzelius, Gesetz für die Bildung der basischen Salze. Bd. XL. S. 289, der Doppelsalze. S. 305 und 331, Krystallwasser der Salze. S. 241.

Poggendorff's Annalen. Rudberg, specifische Wärme der im Wasser löslichen Salze. Bd. XXXV. S. 474. Legrand, Veränderungen, welche Salze in dem Siedepunkt des Wassers hervorbringen. Bd. XXXVII. S. 379. Graham, das Wasser als Bestandtheil der Salze. Bd. XXXVIII. S. 123. v. Blücher, Vermögen der verschiedenen Salze Wasser aus der Atmosphäre anzuziehen. Bd. L. S. 541. Schröder, Sauerstoffsalze und Haloidsalze haben dieselbe Zusammensetzungsart. Bd. L. S. 595. H. Rose, Einwirkung des Wassers auf Chlormetalle. Bd. LXVIII. S. 439. Zersetzende Wirkung des Wassers auf Doppelsalze. Bd. LXXXII. S. 557. Stammer, Reduction der Salze durch Kohlenoxydgas. Bd. LXXXII. S. 140. Kremers, das Krystallwasser, sein Verhältniß zur Constitution und Löslichkeit der Salze und sein Verhalten bei chemischen Zer-

setzungen. Bd. LXXXVI. S. 375. Verhältniß zwischen Wassergehalt und Constitution der Salze. Bd. LXXXVIII. S. 337. Das Zerfließen und Verwittern der Salze. Bd. XCI. S. 283. Versuch die relative Löslichkeit der Salze aus ihrer Constitution abzuleiten. Bd. XCII. S. 497. Aenderungen, welche einige physikalische Eigenschaften wasserfreier Salze durch Eintritt des Krystallwassers erleiden. Bd. XCIII. S. 153. Daniell, Elektrolyse secundärer Verbindungen. Erg. Bd. S. 565 u. 580.

Schweigger's Journal. Dulong, gegenseitige Zersetzung der löslichen und unlöslichen Salze. Bd. V. S. 369. Pfaff (Bd. XI. S. 8) und Brandes (Bd. XLIII. S. 152. Bd. XLVI S. 403), Coexistenz von Salzen, welche sich wechselseitig zersetzen. Gay-Lussac (Bd. XXVII. S. 364), Schweigger-Seidel (Bd. XLVII. S. 202), Griffith (Bd. XLVII. S. 206), Löslichkeit der Salze in Wasser. Faraday (Bd. XXXVI. S. 342), Siedepunkt concentrirter Salzlösungen. Hermann, starke Wasser anziehende Kraft der zerfließlichen Salze. Bd. XLVII. S. 200. Schweigger-Seidel, über Berzelius' Theorie der Salze. Bd. XLIX. S. 327. Boullay, Theorie der Salze. Bd. L. S. 362.

Journ. f. prakt. Chemie. Graham, wasserhaltige Salze und Metalloxyde. Bd. VI. S. 50; Bd. VII. S. 136. Zusammensetzung der Salze. Bd. XII. S. 444. Constitution der Salze. Bd. XV. S. 437. Karsten, Darlegung des sehr merkwürdigen Verhaltens, welches die Salze bei ihrer gemeinschaftlichen Auflösung in Wasser befolgen. Bd. XXII. S. 267 und 347. Reynoso, Einwirkung der Basen auf Salze. Bd. LIV. S. 309. Wechselseitige Zersetzung der Salze. Bd. LXVI. S. 465.

Annalen der Chemie und Pharmacie. Baudrimont, Decrepitiren der Salze. Bd. XX. S. 149. Gregory, eine neue Klasse von Salzen. Bd. XXII. S. 269. Person, specifische Wärme der Salzlösungen. Bd. LXXX. S. 136.

Compt. rend. Laurent, Constitution der Salze der Oxyde R^2O^3. Bd. XXX. S. 673. Person, specifische Wärme der Salzlösungen. Bd. XXXI. S. 566. Malaguti, Wechselwirkung der löslichen Salze auf einander. Bd. XXXV. S. 945. d'Almeida, Zersetzung der Salze durch den galvanischen Strom. Bd. XXXVIII. S. 682.

Williamson, Constitution der Salze. Pharmac. Centralbl. 1851. S. 763. W. B.

Salzspindel, s. Aräometer.

Sammellinse, s. Linse.

Sandhosen, s. Wettersäule.

Saturn, s. Planeten.

Sauerstoff (von ὀξύς, sauer, und γεννάω, ich erzeuge, wegen der Eigenschaft, durch Verbindung mit verschiedenen anderen Elementen Säuren zu bilden), dephlogistisirte Luft, Lebensluft, Feuerluft (lat. oxygenium, franz. oxygène). Chemisches Zeichen = O. Aequivalent = 100 oder 8 (H = 1). Ein einfacher nicht metallischer Körper, der zuerst 1774 von Priestley beim Erhitzen von rothem Quecksilberoxyd entdeckt wurde. Obgleich er von dem folgenden Jahre an die Ansicht aufstellte, daß diese Luftart, das eigentliche Unterhaltungsmittel des Athmens und des Verbrennens, in der gewöhnlichen Luft gemengt mit anderer enthalten sei, so kam er doch zu keiner richtigen Erkenntniß des Sauerstoffs.

Ohne von dieser für die Folgezeit so wichtigen Entdeckung Kunde zu haben, wurde sie fast gleichzeitig an dem entgegengesetzten Ende Europas von Scheele gemacht, als er Salpeter mit Vitriolöl destillirte. Er stellte die Feuerluft, wie er den Sauerstoff nannte, auch aus Braunstein, durch Behandeln mit Schwefelsäure dar. Aber auch er war in den Banden der alten phlogistischen Theorie befangen, so daß er keineswegs die äußerst wichtigen Folgen aus seiner Entdeckung ziehen konnte. Dies blieb Lavoisier vorbehalten. Man kann darüber streiten, ob Lavoisier die Ehre gebührt, neben Priestley und Scheele den Sauerstoff entdeckt zu haben. Dieser Streit aber ist ein ganz müssiger, denn nicht die Entdeckung des Sauerstoffs, sondern einzig nur die Folgerungen, welche Lavoisier daraus zog, waren es, welche einen nicht geahnten Aufschwung der Chemie, von der man heute sagt, daß sie den Scepter unter allen Wissenschaften führe, bewirkten.

Der Sauerstoff gehört zu denjenigen Elementen, die am verbreitetsten in der Natur vorkommen. Im unverbundenen Zustande finden wir ihn in der atmosphärischen Luft, doch, wie bekannt, mit Stickstoff gemengt. Gebunden kommt er im Wasser vor, darin $^8/_9$ dem Gewichte nach betragend; mit den verschiedensten Elementen vereinigt bildet er die Masse unserer Erde, wenigstens $^1/_3$ derselben ausmachend. Außerdem bildet er auch einen wichtigen Bestandtheil fast aller organischen Körper.

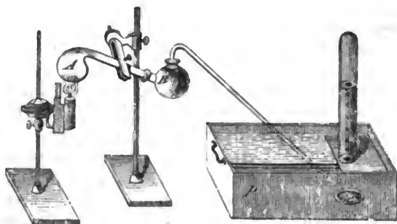
Da der Sauerstoff in der atmosphärischen Luft nur mit Stickstoff gemengt und nicht damit verbunden ist, sollte man glauben, daß man ihn sehr leicht daraus darstellen könnte, indem man nur nöthig hätte, den Stickstoff auf geeignete Weise zu binden. Dieser zeigt aber eine sehr große Indifferenz gegen andere Stoffe, so daß er sich direct mit ihnen nicht verbindet. Erst in neuester Zeit hat Boussingault gelehrt *), den Sauerstoff aus der atmosphärischen Luft darzustellen. Das Verfahren ist an und für sich einfach. Man leitet Luft über Barytstücke, die bis zur Dunkelrothgluth erhitzt sind; der Sauerstoff wird von dem Baryt aufgenommen, es bildet sich Baryumsuperoxyd, welche Verbindung durch stärkere Hitze oder einen Strom von Wasserdampf wiederum zersetzt wird, so daß der Sauerstoff entweicht. Die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit und Kohlensäure stören hierbei nicht. Diese Darstellung des Sauerstoffs wird nur dadurch etwas kostspielig, daß der Baryt durch die darin gewöhnlich enthaltene Thon- und Kieselerde bei wiederholtem Gebrauch sehr stark zusammensintert und dadurch unbrauchbar wird. Nach Boussingault kann man im Großen, bei Anwendung von 10 Kilogramm Baryt (21,38 Pfd.), die 730 Liter (283 36 Kubikfuß) Sauerstoff aufnehmen und wiedergeben mußten, praktisch immerhin 600 Liter (242,88 Kubikfuß) gewinnen. Baut man daher Oefen, in welchen man auf einmal 100 Kilogrm. Baryt (213,8 Pfd.) in 8 bis 10 Röhren vertheilt erhitzt, so liefert dieses in 24 Stunden 9715 bis 12,144 Kubikfuß Sauerstoff. Diese Darstellungsmethode scheint geeignet zu sein, den Vorschlag Priestley's, den Sauerstoff zur Hervorbringung sehr hoher Temperaturen anzuwenden, der Verwirklichung näher zu bringen.

Der Sauerstoff wird ferner durch die lebenden Pflanzen im Sonnenlichte in großer Menge ausgehaucht. Hierdurch wird der durch das Athmen der Menschen und Thiere, so wie durch die Verbrennung bewirkte Verlust der Atmosphäre an

*) Compt. rend. T. XXXII. p. 266 u. 821.

Sauerstoff wiederum ersetzt. Daß die grünen Pflanzentheile wirklich Sauerstoff aushauchen, davon kann sich jeder leicht überzeugen. Man sammelt einige Hände voll grüne Blätter, übergießt diese in einem großen gläsernen Cylinder mit Wasser und setzt sie dem Sonnenlichte aus. Bald sieht man zahlreiche Gasblasen durch das Wasser aufsteigen, die man auf folgende Art auffangen kann. Man stürzt über die Blätter einen Trichter, so daß die Spitze desselben noch vom Wasser bedeckt wird, und setzt auf diese ein mit Wasser gefülltes Probirgläschen. In dieses nehmen die Gasbläschen ihren Weg und verdrängen das Wasser daraus. Die ersten Mengen des sich entwickelnden Gases sind noch mit atmosphärischer Luft, aus dem Wasser herrührend, gemischt, doch später erhält man reines Sauerstoffgas.

Gewöhnlich stellt man das Sauerstoffgas aus gewissen Oxyden dar, welche in der Hitze den Sauerstoff leicht abgeben. Hierher gehören besonders das rothe Quecksilberoxyd und der Braunstein (Mangansuperoxyd). Beistehende Figur zeigt uns den Apparat, der bei der Entwickelung des Sauerstoffgases aus dem Quecksilberoxyde (Hg O) gewöhnlich zur Anwendung kommt. A ist eine kleine Retorte



aus Porzellan oder schwer schmelzbarem Glase und dient zur Aufnahme des Quecksilberoxydes. Wird dieses erhitzt, so wird es in die beiden Bestandtheile: Quecksilber und Sauerstoff zerlegt. Beide entweichen gasförmig; das Quecksilber condensirt sich in der Vorlage B und der Sauerstoff wird durch die Leitungsröhre in den Cylinder geführt, der in der pneumatischen Wanne P aufgestellt ist. Das Quecksilberoxyd enthält in 100 Th. 7,41 Gewichtstheile Sauerstoff, folglich liefert 1 Pfd. desselben 0,822 Kubikfuß Sauerstoffgas.

Der bedeutende Preis des Quecksilberoxydes verhindert aber eine allgemeine Verwendung desselben zur Darstellung des Sauerstoffgases. Braucht man größere Mengen des letzteren, so wählt man in der Regel einen Stoff, der in der Natur in größerer Menge vorkommt und daher zu einem billigen Preise käuflich ist. Dies ist der Braunstein, das Mangansuperoxyd $Mn O^2$, das in der Hitze einen Theil seines Sauerstoffgehaltes abgiebt. 100 Th. enthalten 36,64 Gewichtsth. Sauerstoff, von denen es ein Drittel, also 12,21 Gewichtsth. abgiebt. 3 Atome Superoxyd (1638 Gewichtsth.) verlieren 2 At. Sauerstoff (200 Gewichtsth.) und lassen eine Verbindung von 1 At. Oxyd und 1 At. Oxydul zurück. Ein Pfund Braunstein würde hiernach 1,338 Kubikfuß Sauerstoff liefern; da ersteres jedoch mancherlei Verunreinigungen enthält, so rechnet man in der Regel die Ausbeute von 3 Pfunden auf 2 Kubikfuß.

Zur Austreibung des Sauerstoffs bedarf man hier jedoch einer größeren Hitze, in der Glasgefäße schmelzen würden. In der Regel bedient man sich hier einer eisernen Flasche, in denen das Quecksilber versandt wird. In den Hals derselben befestigt man eine eiserne Röhre und an diese erst das Gasleitungsrohr. Die Flasche erhitzt man zwischen Ziegelsteinen auf einem Rost oder in einem eigenen gut ziehenden Ofen.

Eine größere Ausbeute an Sauerstoff erhält man, wenn man Braunsteinpulver mit concentrirter Schwefelsäure, die mit dem gleichen Gewicht Wasser verdünnt worden ist, erhitzt. Man wendet hier den auf S. 693 abgebildeten Apparat ohne die Vorlage an. $MnO^2 SO^3$ geben $MnO SO^3$ (schwefelsaures Manganoxydul) und O. Das Mangansuperoxyd verliert hierbei also die Hälfte seines Sauerstoffgehaltes; 100 Th. also 18,32 Gewichtsth., so daß man also aus 3 Pfd. Braunstein hier 3 Kubikfuß Sauerstoff erhält. — Auf dieselbe Weise kann man auch das saure chromsaure Kali zersetzen, indem man 3 Th. desselben mit 4 Th. concentrirter Schwefelsäure übergießt. Hierbei bleiben schwefelsaures Kali und schwefelsaures Chromoxyd zurück, denn $KaO, Cr^2 O^6 + 4 SO^3$ geben $KaO, SO^3 + Cr^2 O^3. 3 SO^3$ und 3 O. Das saure chromsaure Kali giebt also die Hälfte seines Sauerstoffgehaltes ab. Bei vollständiger Zersetzung liefern 100 Th. saures chromsaures Kali 16 Th. Sauerstoff oder ein Pfund 1,85 Kubikfuß Sauerstoff.

Am häufigsten wird aber das chlorsaure Kali zur Sauerstoffentwickelung angewendet. Diese Darstellungsweise lehrte zuerst Berthollet 1785. Dieses Salz giebt in der Hitze seinen ganzen Sauerstoffgehalt (39 Proc.); es bleibt Chlorkalium zurück, denn $KaO, Cl O^5$ geben $Ka Cl$ und 6 O. Aus einem Pfund chlorsaurem Kali erhält man demnach 4,275 Kubikfuß Sauerstoffgas. Erhitzt man das chlorsaure Kali in einer Glasretorte, so schmilzt es bei anfangender Rothglühhitze, wobei sich Sauerstoff entwickelt. Die Entwickelung des Gases geht aber bald mit einer solchen Schnelligkeit vor sich, daß oft der Apparat zertrümmert wird, auch wenn man die Hitze mäßigt. Gegen das Ende der Operation wird die geschmolzene Masse sehr zähe, wobei sie stark aufschäumt, und dann ist eine starke Hitze erforderlich, um das Salz vollständig zu zerlegen. Alle diese Uebelstände verschwinden, sobald man das chlorsaure Kali mit geringen Mengen von Kupferoxyd oder gepulvertem Braunstein mengt. Die Zersetzung geht nun viel leichter vor sich und bei einer geringeren Hitze, dabei aber doch mit sehr großer Schnelligkeit. In welcher Art die angegebenen Oxyde, die übrigens unverändert bleiben, hier wirken, ist nicht ganz klar. Einige sprechen von Contactwirkung (katalytischer Kraft), andere sehen den Grund in der Fähigkeit der angeführten Körper, die Wärme gut zu leiten.

Auf welche Art man auch das Sauerstoffgas bereitet, immer muß man das sich zu Anfange entwickelnde Gas entweichen lassen, weil es mit der Luft aus den Gefäßen, so wie auch mit anderen Unreinigkeiten (Kohlensäure, Wasserdampf, namentlich beim Braunstein) gemengt ist. Sobald ein glimmender Span, den man vor die Oeffnung des Gasleitungsrohres hält, lebhaft brennt, ist das Gas rein und zum Auffangen geeignet. — Auch beim Glühen von Salpeter erhält man Sauerstoff, jedoch nicht rein; eben so beim Zerlegen von Wasser mittelst eines galvanischen Stromes. Bei dieser und ähnlichen Zersetzungen scheidet sich der Sauerstoff stets am positiven Pole ab und verhält sich demnach negativ elektrisch.

Das Sauerstoffgas ist farblos und besitzt weder Geruch, noch Geschmack, so daß es also durch das äußere Ansehen nicht von der atmosphärischen Luft zu unterscheiden ist. Jedoch ist es schwerer als letztere; nehmen wir das specifische Gewicht der Luft zu 1,0000 an, so ist das des Sauerstoffgases = 1,10563. Wiegt also 1 Kubikfuß Luft bei 0° und einem Barometerstande von 760^{mm} 659,6873 Gran (2,7486, also fast $2^3/_4$ Loth), so wiegt ein Kubikfuß Sauerstoffgas unter gleichen Umständen 729,3701 Gran oder 3,039 Loth. Das Sauerstoffgas ist 745 Mal leichter als Wasser. — Der Sauerstoff ist ein permanentes Gas, d. h. es gelingt uns nicht, denselben bei Anwendung einer großen Kälte und einem sehr starken Druck zu einer Flüssigkeit zu verdichten. Im Wasser ist der Sauerstoff nur sehr wenig löslich. 100 Kubikzoll Wasser nehmen davon nur 3,5 Kubikzoll auf. Er besitzt unter allen durchsichtigen Körpern die geringste lichtbrechende Kraft; dieselbe verhält sich zu der der atmosphärischen Luft = 0,924 : 1,000, oder im Verhältniß der Dichtigkeit beider = 0,83 : 1,00.

Die Haupteigenschaft des Sauerstoffs ist die, daß die Verbrennung in reinem Sauerstoff viel lebhafter vor sich geht, als unter gewöhnlichen Umständen, d. h. in der atmosphärischen Luft. Ein glimmender Span entzündet sich augenblicklich darin und brennt mit glänzendem Licht; Kohle brennt darin unter Funkensprühen mit einem hellen weißblauen Licht, Schwefel mit einer schönen violettrothen Flamme und Phosphor mit einem unerträglichen weißglänzenden Licht; selbst Eisen (eine Uhrfeder, Draht), sobald ein Stückchen glimmender Schwamm daran befestigt ist, brennt darin mit einem glänzenden Licht unter lebhaftem Funkensprühen. Man nennt daher den Sauerstoff auch Verbrennungsunterhalter, Zünder oder Combustor; der Sauerstoff selbst brennt nicht.

Der Sauerstoff besitzt unter allen Elementen die größte Verwandtschaft zu den übrigen Elementen. Er verbindet sich mit allen; nur mit dem Fluor kennt man bis jetzt keine Verbindungen. Der Sauerstoff verbindet sich mit ein und demselben Element in sehr verschiedenen Verhältnissen. Den Proceß der chemischen Verbindung des Sauerstoffs mit anderen Elementen nennt man im Allgemeinen Oxydation und den mit Sauerstoff verbundenen Körper ein Oxyd. Die chemische Natur dieser Verbindungen ist aber verschieden; die Oxyde sind entweder Basen, Säuren oder indifferent. Aber nicht allein der freie Sauerstoff, sei es der reine oder die atmosphärische Luft, wirkt oxydirend, sondern unter Umständen auch der gebundene. Sehr häufig wird der Sauerstoff aus seinen Verbindungen befreit und auf andere Elemente übertragen, die eine größere chemische Anziehung auf den Sauerstoff ausüben. So z. B. geschieht dies beim Auflösen der Metalle in Sauerstoffsäuren allgemein; sei es, daß die Säure selbst hier einen Theil ihres Sauerstoffs hergiebt oder sei es, daß hierbei das Wasser zerlegt wird. Sehr kräftig oxydirend wirkt z. B. der Salpeter beim Schmelzen.

Im gewöhnlichen praktischen Leben hat der Sauerstoff bis jetzt noch keine Verwendung von einiger Bedeutung gefunden, weil seine Darstellung für technische Zwecke zu kostspielig ist. Ließe sich dieser Umstand beseitigen, so könnte der Sauerstoff für die Technik sehr wichtig werden. Nur in einzelnen Fällen hat man davon Gebrauch gemacht; so z. B. da, wo es darauf ankommt, in kleinen, eingeschlossenen Räumen die Luft in einem athembaren Zustande zu erhalten, z. B. in Taucherglocken. Für den Chemiker ist jedoch der Sauerstoff sehr wichtig, namentlich um eine sehr hohe Temperatur hervorzubringen (bei Schmelzungen) und um sehr schwer

verbrennliche Körper vollständig zu verbrennen. Der Sauerstoff ist ferner ein sehr wichtiges Hülfsmittel bei der organischen oder Elementaranalyse (vergl. d. Art. Analyse, Bd. I. S. 171).

Bei alledem ist doch der Sauerstoff für das Leben von sehr großer Wichtigkeit; er ist eben so unentbehrlich für unsere Verbrennungsprocesse wie für unser Leben selbst und das der Thiere. Beim Athmen nehmen wir unaufhörlich Sauerstoff aus der Luft auf, der sich namentlich mit dem Kohlenstoff des Blutes verbindet, um als Kohlensäure, die wiederum den Pflanzen zur Nahrung dient, wieder ausgeathmet zu werden. Der Kohlenstoff verbrennt so zu sagen im Körper der Menschen und Thiere und daher rührt zum großen Theile die den lebenden Wesen eigenthümliche Wärme. Diejenigen Thiere, welche schneller athmen, bei denen daher so zu sagen eine lebhaftere Verbrennung stattfindet, besitzen eine größere Wärme, als diejenigen, welche langsamer athmen. Das reine Sauerstoffgas wirkt jedoch nachtheilig auf den thierischen Organismus. Bringt man z. B. ein Kaninchen in reines Sauerstoffgas, so bemerkt man, daß der Blutumlauf und das Athmen nach einer Stunde sehr schnell von Statten gehen; das Thier zeigt sich sehr erregt, dann tritt eine große Schwäche ein und nach sechs bis zehn Stunden erfolgt der Tod. Auch das dunkle Blut der Venen besitzt nun eine hellrothe Farbe und das Herz bewegt sich noch heftig, obgleich das Athmen schon längst aufgehört hat. Darum finden wir dem Sauerstoff in der atmosphärischen Luft den Stickstoff beigesellt, damit er die energischen Einwirkungen des ersteren mäßige. Man hat es versucht, das reine Sauerstoffgas als Heilmittel anzuwenden, doch nöthigt die energische Wirkung desselben zu besonderer Vorsicht. Nach Duroy *) soll es jedoch die so oft beim Einathmen von Chloroform auftretenden Uebel heben. Eben so soll das Einathmen von reinem Sauerstoff das beste Mittel gegen die Asphyxien durch Kohlenoxyd oder andere Gase sein.

Ohne den Sauerstoff wäre ferner ein Keimen und Gedeihen der Pflanzen nicht denkbar. Seiner Macht verfallen alle organisirten Körper nach ihrem Tode; die organischen Bestandtheile derselben kehren in flüchtigen Verbindungen in die Luft zurück, um neue Bausteine für neue Bildungen zu liefern. Mit Hülfe des Sauerstoffes der Luft leiten wir mancherlei wichtige Gährungs- und Verwesungsprocesse ein.

Das Haupterkennungsmittel des freien Sauerstoffes ist ein glimmender Span. Allerdings findet auch in dem Stickstoffoxydul die Entzündung eines solchen statt, doch geht hier die Verbrennung viel weniger lebhaft vor sich. Ist Sauerstoff mit anderen Gasarten gemengt, so kann man die Gegenwart desselben durch Stickstoffoxydgas erkennen. Letzteres ist ein farbloses Gas; es nimmt aber eine gelbrothe Farbe an, sobald es mit Sauerstoff zusammenkommt. Eben so wird der Sauerstoff von einer großen Zahl von Körpern absorbirt. In der Regel wendet man hierzu Phosphor an; bei Gegenwart von Sauerstoff bilden sich um den Phosphor weiße Nebel von phosphoriger Säure.

Auf welche Art der Sauerstoff in Gasgemengen quantitativ bestimmt wird, findet man im Artikel Eudiometer (Bd. II. S. 934). W. B.

Scalenaräometer, s. Aräometer.

*) Journ. de Pharm. et de Chim. 3. Ser. T. VIII. p. 64.

Schall nennt man im Allgemeinen Alles, was wir vermittelst unseres Gehörorganes wahrnehmen, also kurz Alles, was gehört wird. Die verschiedenen Arten des Schalles erhalten aber wieder besondere Namen, deren Bedeutung allgemein bekannt ist. So nennt man einen starken, schnell vorübergehenden Schall einen Knall, und unterscheidet davon wieder ohne Mühe und deutlich das sogenannte Getöse, Gedröhn, Gebrause, Geräusch, Gezisch, Krachen, Rasseln rc.

Ein Schall, der durch eine gewisse Gleichartigkeit und Regelmäßigkeit charakterisirt ist, heißt Ton, der sich um so mehr dem Geräusche nähert, je weiter er sich von der musikalischen Reinheit entfernt. Die Töne unterscheiden sich durch ihre Stärke und durch ihre Höhe oder Tiefe von einander. Allein zwei Töne können bekanntlich bei gleicher Höhe noch einen sehr verschiedenartigen Eindruck machen, wenn sie durch verschiedene musikalische Instrumente gegeben werden. Diese unterscheidende Eigenthümlichkeit zweier oder mehrerer Töne bei gleicher Höhe nennt man ihren Klang, dem in der französischen Sprache das Wort timbre *) entspricht.

Die Lehre vom Schalle nennt man gewöhnlich Akustik (s. d. Art.).

Was nun die Ursache des Schalles betrifft, so lehrten schon frühzeitig dahin gehörige Wahrnehmungen, daß dieselbe in einer innerhalb der wägbaren Materie vorgehenden Bewegung zu suchen sei **). Daher sprach man lange Zeit hindurch von einer Erzitterung der kleinsten Theilchen der Körper, als von einer Bedingung des Schalles. Doch wurden erst durch Newton, Sauveur, durch Johann, Jacob und Daniel Bernoulli, durch Riccati und namentlich auch durch L. Euler die Erscheinungen des Schalles bestimmter auf die Gesetze einer schwingenden Bewegung der Körpertheilchen, oder mit anderen Worten, auf die Gesetze der Wellenbewegung zurückgeführt. Hiernach fanden dann weitere Untersuchungen durch Chladni, Poisson, Savart, Th. Young, die Gebrüder Weber und verschiedene andere Physiker statt, welche letztere wir gehörigen Orts nennen werden.

Daß die Entstehung des Schalles auf einer vibrirenden Bewegung der Massentheilchen der betreffenden Körper beruht, läßt sich auch empirisch darthun, und wir verweisen in dieser Beziehung auf den Art. Wellenbewegung. Die Bewegung, welche den Schall hervorbringt, ist stets eine schwingende Bewegung. Viele tönende Körper machen während der Zeit, in welcher sie tönen, sogar merkliche Schwingungen; besonders auffallend ist diese Erscheinung an den Saiten der Violine, Harfe, der Guitarre und ähnlicher Instrumente (s. d. Art. Monochord). Diese Schwingungen sind allerdings zu schnell, als daß man sie unmittelbar zählen könnte. Hält man die Grenzen fest, bis zu welchen die Saite ausweicht, so glaubt man sie zu gleicher Zeit in allen mittleren Stellungen zu erblicken, ungefähr wie man einen Feuerkreis sieht, wenn man eine glühende Kohle mit hinlänglicher Geschwindigkeit umschwingt. Der Ton hört aber mit der Bewegung auf und fängt mit ihr wieder an. Bei den Glocken sind diese Schwingungen weniger in die Augen fallend, aber sie existiren doch wie in den Saiten. Man kann sich hiervon

*) Chladni's neue Beiträge zur Akustik. S. 57.
**) Aristoteles, Fragm. de Audib. T. I. p. 735. Bibl. univ. T. XVIII. p. 334.

unter anderem schon überzeugen, wenn man eine große Glasglocke nimmt und in diese eine kleine Metallkugel oder Glasperle hängt. Schlägt man sie an, daß sie tönt, und neigt sie darauf so, daß die Kugel die Wand eben berührt, so springt dieselbe schnell zurück, und man hört die wiederholten Schläge, welche sie zurückfallend durch ihr Gewicht erzeugt. Man darf endlich nur mit dem Finger irgend einen tönenden Körper leicht berühren, um in allen Theilen desselben ein Zittern wahrzunehmen, welches fortwährend die Erzeugung des Tones begleitet; aber wenn man an einem einzigen Punkte einen etwas starken Druck ausübt, so wird die Bewegung in der ganzen Masse aufgehalten, und der Ton hört auf. Bei anderen Instrumenten, wie bei der Flöte und Pfeife ist es die schwingende Bewegung einer Luftsäule, welche den Ton erzeugt, und auch hiervon kann man sich auf dem Wege des Versuches überzeugen. Das Nähere hierüber in den Artikeln Wellenbewegung und Ton.

Wenn in einem elastischen Körper das innere (moleculare) Gleichgewicht in Folge einer äußeren Störung an einer gewissen Stelle gestört wird, so werden die zunächst ergriffenen Theilchen aus ihrer stabilen Gleichgewichtsstellung herausgerückt; sie streben jedoch, falls die Elasticitätsgrenze durch die äußere Störung nicht überschritten ist, in ihre normale Stellung zurück; vermöge der Wechselwirkung aber, welche zwischen den Theilchen desselben Körpers besteht, wird sich die Gleichgewichtsstörung von jenen Theilchen auf die benachbarten übertragen, die nicht unmittelbar von der störenden Ursache ergriffen sind. So entsteht dann eine Bewegung, die von einem Massentheilchen zum anderen succeissiv fortschreitet; und dies kann noch geschehen, während die der Ursprungsstelle dieser Bewegung näher gelegenen Theilchen schon wieder im Zustande des Gleichgewichtes sich befinden. Jedes Theilchen weicht um eine gewisse Weite von seiner anfänglichen Lage ab, und kehrt wieder in dieselbe zurück. Da aber die Theilchen, die in derselben Richtung sich hinter oder neben einander befinden, successiv in Bewegung gerathen, so werden sie nicht alle in demselben Zeitmoment in gleich großer Abweichung von ihrer normalen Lage sich befinden. Die Bewegung der Theilchen ist eine schwingende, fortschreitend von einem Theilchen zum benachbarten; und eine solche Bewegung nennt man eine Wellenbewegung.

Rücksichtlich der Schallerscheinungen kommen nun zweierlei Arten von Schwingungen in Betracht, nämlich die so eben erwähnten fortschreitenden und die sogenannten stehenden Schwingungen. Die letzteren sind es, welche den Schall in einem elastischen Körper erzeugen, oder ihn zum Selbsttönen bringen, während die Fortpflanzung des Schalles durch die fortschreitenden Schwingungen geschieht. Die stehenden Schwingungen finden ganz nach der Art der Pendelbewegung statt, indem sich die Abweichung nach der einen Seite der Gleichgewichtslage in eine Abweichung nach der entgegengesetzten Seite verwandelt, und umgekehrt. Daher haben auch die schwingenden Theile, wie beim Pendel, ihre kleinste Geschwindigkeit bei der größten Abweichung von der Gleichgewichtslage, und ihre größte Geschwindigkeit in dem Augenblick, wo sie in diese Lage eintreten. Darum geht auch jedes schwingende Theilchen wiederholt über die Gleichgewichtslage hinaus, so daß eine stehende Schwingung noch eine Zeitlang fortdauert, nachdem bereits die erregende Ursache zu wirken aufgehört hat, wie denn auch eine angeschlagene Saite oder Glocke noch einige Zeit nach dem Schlage fortklingt. Anders ist es bei den fortschreitenden Schwingungen; bei ihnen wächst

die Geschwindigkeit der schwingenden Theilchen mit der Entfernung von der Gleichgewichtslage, und ist in dieser gleich Null, so daß zur Erneuerung der Bewegung eine neue Gleichgewichtsstörung erforderlich ist. Die stehenden Schwingungen können aber aus den fortschreitenden unter geeigneten Umständen hervorgehen. Wird in einem elastischen Körper auf irgend eine Weise (durch Stoß, Schlag ꝛc.) an einer bestimmten Stelle eine Wellenbewegung veranlaßt, so wird diese an den Grenzen des Körpers eine Reflexion erfahren, und wenn die erregende Ursache in derselben Weise mit einer gewissen Schnelligkeit fortwirkt, so werden die directen Wellen den reflectirten begegnen, aus deren Zusammentreffen (s. Art. Interferenz) dann eine stehende Schwingung der Theilchen resultiren kann. Es gehört dazu ein hinreichender Grad von Elasticität des betreffenden Körpers, und ein schickliches Verhältniß seiner Dimensionen zu den Dimensionen der erregten Welle. Dabei geschieht es denn auch, daß gewisse Theilchen des Körpers, indem sie beim Durchkreuzen der directen und reflectirten Wellen auf entgegengesetzte Weise zur Bewegung angeregt werden, in Ruhe bleiben, und zusammen sogenannte Knotenlinien bilden. Hierdurch kann der Körper in mehrere schwingende Abtheilungen getheilt werden, so daß je zwei an einander liegende gleiche, aber der Richtung nach entgegengesetzte Schwingungen vollziehen. — Feste, gasförmige und selbst tropfbarflüssige Körper können zu solchen Schwingungen veranlaßt werden.

Feste (starre) elastische Körper werden häufig in der Form von Stäben und Scheiben (Platten) zu Schwingungsversuchen benutzt, während man anderen starren Körpern, wie Saiten oder Membranen, erst durch Spannung denjenigen Grad von Elasticität ertheilen muß, bei welchem sie durch eine Gleichgewichtsstörung zu tongebenden Schwingungen veranlaßt werden können. Bei diesen Körpern kann aber das moleculare Gleichgewicht an einer bestimmten Stelle durch Biegung, Dehnung oder Drehung gestört werden, und man unterscheidet hiernach Transversal-, Longitudinal- und drehende Schwingungen.

Die Gesetze der hier kurz charakterisirten Wellenbewegung wird man ausführlicher im Art. Wellenbewegung und das auf die musikalischen Töne Bezügliche im Art. Ton entwickelt finden.

Die atmosphärische Luft ist das gewöhnliche Medium, durch welches die Schallwellen sich zu unserem Gehörorgane fortpflanzen. Durch den luftleeren Raum pflanzt sich der Schall nicht fort; bringt man unter den Recipienten einer Luftpumpe das Schlagwerk einer Uhr, dergestalt, daß man dasselbe auf ein weiches Polster setzt, welches die Mittheilung der Schallwellen an den Teller und die übrigen festen Theile der Luftpumpe verhindert, so hört man den Ton der Glocke nicht mehr, sobald die Luft im Recipienten bis zu einem gewissen Grade verdünnt ist. Auf diese Weise überzeugt man sich leicht und genügend, daß atmosphärische Luft von gewöhnlicher Dichte den Schall stärker fortpflanzt als verdünnte, und daß mit der Hinwegnahme der Luft auch der Schall aufhört, vernehmbar zu sein.

Man hat an verschiedenen Orten der Erde viele Versuche angestellt, um die Geschwindigkeit des Schalles genauer zu ermitteln. Zu den älteren Bestimmungen gehören die Versuche von Mersenne*), der Florentiner Aka-

*) Harm. univ. Par. 1635. fol. Prop. V. art. 4. Tractat. de arte ball. p. 138.

demie*), von R. Bayle**), Walker***), Roberts****), Bianconi*****); Flamstead, Halley und Derham†); von Cassini, Huyghens, Picard und O. Römer††), Condamine†††). In Deutschland wurden Versuche angestellt von Kästner und Mayer††††), von Müller†††††) und die längere Zeit hindurch beachteten von Benzenberg *†). Endlich in Amerika von Don J. de Espinosa und Don Felipe Bauza **†).

Versuche über die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft lassen sich in der Weise anstellen, daß man an den beiden Endpunkten einer genau gemessenen Linie gleichzeitig Kanonen abfeuert und die Zeit vom Augenblick der Lichterscheinung bis zum Vernehmen des Schalles an beiden Endpunkten beobachtet. Das Mittel aus beiden Beobachtungen läßt sich dann als nahe unabhängig vom Einflusse des Windes betrachten, da die Schallwellen in dem einen Falle mit dem Winde, in dem anderen gegen denselben gehen.

In dieser Weise wurden auf Veranlassung der Pariser Akademie im Jahre 1822 Versuche in der Nähe von Paris angestellt. Die beiden Stationen, welche man gewählt hatte, waren Villejuif und Montlhéry. Auf jener Station befanden sich als Beobachter Prony, Arago und Matthieu, auf der anderen Humboldt, Gay-Lussac und Bouvard. Die Versuche wurden bei Nacht angestellt, und begannen um 11 Uhr Abends den 21. und 22. Juni 1822. Zu Villejuif beobachtete man genau das Feuer jedes Schusses zu Montlhéry, und umgekehrt. Die Luft war heiter und fast ruhig. Die zur Zeitbestimmung gewählten Chronometer waren übereinstimmend geordnet, und man war übereingekommen, daß jede Station 12 Schüsse, jeden 10 Minuten nach dem anderen abfeuern, und daß die Station von Montlhéry 5 Minuten vor der von Villejuif beginnen sollte, so daß ein Beobachter genau in der Mitte der Linie von beiden Kanonen von 5 zu 5 Minuten die abwechselnden Schüsse gehört haben würde; den ersten von Montlhéry, den zweiten von Villejuif, den dritten von Montlhéry rc. Die Beobachter von Villejuif hörten genau alle Schüsse von Montlhéry, jeder von ihnen bemerkte auf seinem Chronometer die Zeit, welche zwischen der Erscheinung des Lichtes und der Ankunft des Schalles verging. Zu Montlhéry konnte man von den 12 Schüssen zu Villejuif nur 7 hören. Die mittlere Zeitdauer zwischen dem gesehenen Blitze und dem gehörten Schalle war am ersten Tage zu Montlhéry 54″,43, zu Villejuif 54″,81, und der Schall durchlief hiernach die Strecke zwischen

---

*) Muschenbroek, Tent. Exper. T. II. p. 112.
**) Essay on languid motion. p. 24.
***) Phil. Transact. N. 256. T. XX. p. 434.
****) Phil. Transact. 1694. N. 209.
*****) Comm. Bonon. T. II. p. 365. Hamb. Magaz. Bd. XVI. S. 476.
†) Phil. Transact. N. 313. T. XXVI. p. 16. Ann. 1708. 1709.
††) Du Hamel, Hist. de l'Acad. L. II. sect. 3. C. 2; Mém. de l'Acad. 1738. p. 123. 1739. p. 126.
†††) Introduct. hist. Par. 1751. p. 98; Voy. de la Riv. des Amaz. p. 206. Winkler: Tentamina circa soni celeritatem per aërem atmosph. Lips. 1763.
††††) Praktische Geometrie. Götting 1792. Bd. I. S. 166.
†††††) Götting. gelehrt. Anz. 1791. St. 159. Lichtenb. Magaz. Th. VIII. St. 1. S. 170.
*†) Gilbert's Ann. Bd. XXXV. S. 333. Bd. XLII. 1. ff.
**†) Ann. de Chim. et de Phys. T. VII. p. 93. Crelle's Journ. Th. II. S. 307.

beiden Stationen im Mittel in 54'',6. Die von Arago genau gemessene Entfernung beider Kanonen betrug 9549,6 Toisen. Dividirt man diese Länge durch 54,6; so ergeben sich 174,9 Toisen (1049,4 Fuß) oder 340^{m},88 für den Weg, welchen der Schall in 1 Secunde durchlaufen hat. Die Temperatur war 16° C., der Barometerstand zu Villejuif 756^{mm},5, und das Saussure'sche Hygrometer zeigte 78°. Die Geschwindigkeit des Schalles bei 16° C. Temperatur war also 340^{m},8. Reducirt man diese Geschwindigkeit nach der später anzuzeigenden Rechnung auf 10° Temperatur, so folgt 337^{m},28 und für die Temperatur von 0° findet sich 331^{m},12 *).

Bald hierauf (1823) wurden weitere genaue Beobachtungen rücksichtlich der Geschwindigkeit des Schalles in Holland von G. Moll in Verbindung mit van Beek und Anderen vorgenommen **). Der Beobachtungsort war auf einer weiten Ebene in der Gegend von Utrecht, wo zwei niedrige Hügel ausgesucht wurden. Auf jeder Station befanden sich ein regulirtes Barometer, mehrere gute Thermometer, ein Daniell'sches Hygrometer und (zur Bestimmung der Windrichtung) Fahnen. Diese Instrumente waren sämmtlich unter Zelten angebracht. Jede Station hatte aber zum Schießen einen 12= und einen 6=Pfünder. Als Zeichen, daß alles vorbereitet sei, diente ein Signal durch eine Rakete, das jede Station der anderen gab.

Die beobachteten Werthe für die Geschwindigkeit des Schalles am 27. und 28. Juni waren 340,06 Meter und 339^{m},34. Die Correctur dieser Werthe rücksichtlich der Temperatur und Feuchtigkeit geschah nach der Formel

$$v' = \frac{v}{\sqrt{(1 + 0{,}00375\,t)}.\ \sqrt{\left(1 - 0{,}37651\,\frac{F}{B}\right)}},$$

wo v die beobachtete Geschwindigkeit, t die beobachtete Temperatur, F die Spannung des Wasserdampfes nach der Angabe des Hygrometers und B der corrigirte Barometerstand ist. Setzte man nun für diese Zeichen die am 27. Juni und hiernach auch die am 28. beobachteten Werthe, so erhielt man im ersten Falle $v' = 332^{m},38$ und im zweiten $v' = 331^{m},72$, deren Differenz $0^{m},66$ ist.

In ähnlicher Weise wurden Versuche von Goldingham ***) in Madras, und von Myrbach und Stampfer in der Nähe von Salzburg angestellt ****). Bei den Versuchen der letzteren betrug der Höhenunterschied beider Stationen 4198 Par. Fuß bei einer gegen den Horizont geneigten absoluten Entfernung von 30601 Par. Fuß. Die Versuche zeigten, daß diese schiefe Richtung keinen Einfluß auf die Schallgeschwindigkeit hatte. Goldingham fand aber, daß sich der Schall in feuchter Luft schneller als in trockner fortpflanzt.

Versuche von Gregory *****) zu Woolwich waren vorzugsweise auf den Einfluß des Windes gerichtet; die Entfernung beider Beobachtungsstationen

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XX. p. 210.

**) Phil. Transact. 1824. p. 424. Gilb. Ann. Bd. LXXXI. S. 331. 469.

***) Phil. Transact. 1823. T. I. p.96. Phil. Magaz. or Annals. T. LXVI. p. 109.

****) Jahrb. des Wiener polytechn. Instit. Th. VII. S. 23.

*****) Phil. Magaz. T. LXIII. Biblioth. Brit. T. XXVII. p. 264. Transact. of the Cambr. Phil. Soc. T. II. P. 1. p. 119.

betrug aber nur 6550 engl. Fuß. Der Wind beschleunigt hiernach den Schall um seine eigene Geschwindigkeit, wenn er mit ihm geht, und verzögert ihn um eben so viel, falls er ihm entgegen kommt. Der reflectirte Schall hat aber nach Gregory mit dem directen gleiche Geschwindigkeit.

Versuche über die Geschwindigkeit des Schalles bei sehr niedriger Lufttemperatur wurden von Kendal *) in der Nähe des Sclavensees, von Capitain Parry **) auf der Insel Melville und von demselben ***) in Verbindung mit Lieut. Foster bei ihrem Winteraufenthalt zu Fort Bowen unter 73° 13′ 39″ n. Br. und 88° 54′ 55″ w. L. von Greenwich 1824 und 1825 angestellt. Es ergiebt sich aus diesen Versuchen, daß der Einfluß der Temperatur auf die Schallgeschwindigkeit sich bei den tiefsten Kältegraden stets gleich bleibt und auf gleiche Weise wie bei größerer Wärme corrigirt werden kann.

G. Moll ****) berechnete auf Grund seiner Versuche und mit Berücksichtigung der übrigen bisher aufgezählten Versuche die corrigirte Schallgeschwindigkeit in trockner Luft und bei 0° C. zu 332,05 Meter, während Simons *****) nach einer später anzuführenden Formel, namentlich auf Grund der Moll'schen Versuche, für diese Geschwindigkeit den Werth 332,244 Meter erhielt. Das Mittel aus beiden Werthen ist 332,147 Meter, das man als der Wahrheit am nächsten kommend betrachtet, so daß also der Schall in trockner, oder nur sehr wenig feuchter Luft bei 0° C. $332^{m},147$ oder 1022,5 Par. Fuß in 1 Secunde zurücklegt.

Corrigirt man aber die beobachteten Werthe rücksichtlich der Wärme nicht, wie es hier geschehen, nach dem Gay-Lussac'schen Coefficienten für die Ausdehnung der Luft (= 0,00375), sondern nach dem Coefficienten 0,00366; so ergiebt sich für die Schallgeschwindigkeit unter den angeführten Umständen 332,25 Meter.

Im September 1844 wurden von A. und C. Bravais und von Martins auf dem Faulhorn und neben dem Dorfe Tracht (in der Nähe von Brienz) Versuche über die Schallgeschwindigkeit in der Luft angestellt †). Hier pflanzen sich die Schallwellen einerseits nach der Höhe und andererseits nach der Tiefe fort. Doch hatte dieser Umstand, den erhaltenen Resultaten zufolge, keinen merklichen Einfluß auf die Geschwindigkeit der Fortpflanzung, so daß sich also die Schallwellen, mögen sie nach der Höhe oder in die Tiefe gehen, gleich schnell fortpflanzen. Aus 34 an drei Abenden angestellten Untersuchungen ergab sich die Geschwindigkeit des Schalles in trockner Luft und für die Temperatur 0° C. zu 332,37 Meter in 1 Secunde, ein Werth, der nur wenig von dem obigen aus den Moll'schen Versuchen erhaltenen ($332^{m},25$) abweicht.

Newton ††) versuchte es zuerst, die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung

---

*) Narrative of a second Expedit. to the shores of the Polar see in the Years 1825, 26 and 27 by John Franklin. Lond. 1828. 4. App. IV.

**) Appendix to Capt. Parry's second Voyage cet. Lond. 1825. p. 239.

***) Journal of a third Voyage for the discovery of a North West Passage cet. under the orders of Capt. W. E. Parry. Lond. 1826. p. 86.

****) Phil. Transact. 1828. p. 97. Pogg. Ann. Bd. XIV. S. 371.

*****) Phil. Transact. 1830. p. 209. Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 145.

†) Compt. rend. T. XIX. p. 1164.

††) Princ. Lib. II. Sect. VIII. prop. 42 — 50.

in der Luft theoretisch zu ermitteln; er zeigte, daß das Quadrat derselben der Expansivkraft der Luft direct und ihrer Dichte umgekehrt proportional ist, so daß man also für die Geschwindigkeit den Ausdruck hat $v^2 = \frac{e}{d}$, oder $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$, falls v die Geschwindigkeit des Schalles, e die Expansivkraft oder den Druck der Luft auf die Flächeneinheit, und d die Dichte der Luft bezeichnet.

Nach dieser Formel ändert sich v nicht, wenn e oder der Barometerstand sich ändert; denn nach dem Mariotte'schen Gesetze (s. Art. Gas) bleibt in diesem Falle das Verhältniß von e zu d unverändert. Wenn dagegen bei constantem e der Werth von d, in Folge einer Temperaturveränderung, ein anderer wird; so gewinnt die Formel $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$ eine andere Gestalt. Bezeichnet in dieser Formel v und d die Geschwindigkeit des Schalles und die Dichte der Luft für die Temperatur 0° C., so sei bei der Temperatur t die Dichte der Luft durch d' bezeichnet, und es ist dann $v' = \sqrt{\frac{e}{d'}}$. Nun ist aber $d' = \frac{d}{1 + \alpha t}$, wo α der Ausdehnungscoefficient der Luft für eine Temperaturveränderung von 1° C. ist. Daher $v' = \sqrt{\frac{e(1+\alpha t)}{d}} = v\sqrt{(1+\alpha t)}$.

Ist nun nach den obigen Ergebnissen $v = 332^m,25$; so hat man für irgend eine Temperatur t die Geschwindigkeit des Schalles $v' = 332^m,25 \sqrt{(1 + \alpha t)}$.

Die Versuche von Myrbach und Stampfer bestätigten, daß mit der Dichte der Luft sich die Geschwindigkeit des Schalles nicht ändert, so lange die Temperatur dieselbe bleibt, wie auch aus der obigen Formel folgt. Mit der Dichte verändert sich bei constanter Temperatur die Spannkraft der Luft in gleichem Maße, daher auch das Verhältniß zwischen e und d dasselbe bleibt.

Der Ausdruck $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$, obschon an sich richtig, gab doch einen zu kleinen Werth, nämlich eine Geschwindigkeit, die etwa nur 5/6 der durch die Erfahrung gegebenen betrug. Newton versuchte selbst diese Differenz zu erklären, aber erst Laplace*) gab eine Erklärung, die man bald als die richtige anerkannte, obschon es auch an Einwendungen dagegen nicht fehlte **). Die Bewegung, welche den Schall ausmacht, ist als Wellenbewegung mit wechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft verbunden. Nun ist jede Zusammendrückung der Luft von einer Wärmeentwickelung, und jede Verdünnung der Luft von einer Wärmebindung begleitet. Mag dies nun auch keinen Einfluß auf das Thermometer äußern, so kann es doch sehr wohl geschehen, daß das in raschem Wechsel stattfindende Freiwerden und Binden der Wärme eine Differenz zwischen dem Gesetze der Elasticität der Luft und dem Mariotte'schen Gesetze herbeiführt. Die beschleunigende Kraft bei der Fortpflanzung des Schalles ist aber bedingt durch die

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. III. p. 238; T. XXIII. p. 1. Méc. cel. T. V. p. 119.

**) Gilb. Ann. Bd. XVIII. S. 401; Bd. XXI. S. 449. Gehler's phys. Wörterbuch. N. A. Bd. VIII. S. 425.

Differenz zwischen der Expansivkraft der verdichteten oder verdünnten Luft und der Expansivkraft der Luft von gewöhnlicher Dichte. Diese Differenz wird nun im Falle der Verdichtung der Luft durch die entwickelte Wärme, im Falle der Verdünnung durch die Erkaltung vermehrt; und daraus folgt auch eine Vergrößerung des Werthes von e in obiger Formel. Hiernach hat man den Quotienten aus der Spannkraft der Luft und ihrer Dichte noch mit einem constanten Factor $k = \frac{c'}{c}$ zu multipliciren, der das Verhältniß der specifischen Wärme der Luft unter einem constanten Drucke zu ihrer specifischen Wärme bei constantem Volumen angiebt (s. Art. Wärme). Die Spannkraft e der Luft kann man nun durch das Gewicht einer Quecksilbersäule ausdrücken, welche dem Drucke der Luft bei 0° das Gleichgewicht hält. Bezeichnet man die Höhe dieser Quecksilbersäule durch h, und die Beschleunigung der Schwere, wie gewöhnlich, durch g; so erscheint $v = \sqrt{\frac{gh}{D} \cdot k}$, wo $g = 9^m{,}808$ und k nach Dülong's Versuchen für atmosphärische Luft = 1,415 und D die Dichte der Luft im Verhältniß zum Quecksilber ist.

Es kann nicht geläugnet werden, daß diese Formel mit der nöthigen Rücksicht auf die Temperatur der Luft Resultate giebt, die mit den empirisch erhaltenen nahe übereinstimmend sind.

Im Wesentlichen zu derselben Formel führte auch eine Entwickelung von Poisson *).

Die Fortpflanzung des Schalles in den übrigen Gasen befolgt dieselben Gesetze, welche für die atmosphärische Luft gelten. Wenn nun eine gedeckte (d. h. an ihrem einen Ende verschlossene), mit atmosphärischer Luft gefüllte Röhre von l Fuß Länge, angeblasen, den tiefsten Ton oder ihren Grundton giebt, so ist die Länge der entsprechenden Tonwellen 4 l, und wenn n die Anzahl der Schwingungen ist, durch welche der Grundton erzeugt wird, so hat man für die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft $v = 4\,l\,n$ (s. d. Art. Wellenbewegung). Füllt man nun eine solche Pfeife nach einander mit verschiedenen trocknen Gasen, so läßt sich aus dem Grundtone, den sie angeblasen giebt, oder aus der Anzahl der demselben entsprechenden Schwingungen die Geschwindigkeit des Schalles in dem betreffenden Gase nach der eben aufgestellten Formel ermitteln. Dülong **) erhielt so für die nachstehenden Gase die beigefügten Geschwindigkeiten, falls die Geschwindigkeit des Schalles in der atmosphärischen Luft = 1 gesetzt wird.

Wasserstoffgas	= 3,812
Kohlenoxyd	= 1,013
Sauerstoffgas	= 0,952
Oelbildendes Gas . . .	= 0,943
Stickoxydgas	= 0,787
Kohlensäure	= 0,786.

*) Journ. de l'École polytech. Cah. XIV. p. 360. Ann. de Chim. et de Phys. T. XXII. p. 5; T. XXXIII. p. 337. Connaissance de Temps. 1826. p. 257.

**) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLI. p. 113.

Wenn die Schallwellen sich in gasförmigen, tropfbarflüssigen oder festen Körpern fortpflanzen, so theilen sich die Massentheilchen ihre Bewegung in Folge der Zusammendrückungen und der mit diesen wechselnden Ausdehnungen einander mit. Hiernach kann man nun mit Laplace der Formel $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$ eine Gestalt geben, worin sie auch zur Berechnung der Geschwindigkeit des Schalles in tropfbaren und starren Körpern geeignet ist. Man habe eine cylindrische Luftsäule von der Basis und Höhe = 1 und der Spannkraft e, die also unter dem Drucke e steht und deren Theilchen nur im Sinne der Länge einem Bewegungsimpulse nachgeben können. Hat nun diese Säule überdies noch einen Druck auszuhalten, der ihrem eigenen Gewichte gleich ist, so wird sich die Höhe oder Länge derselben um eine Größe = λ verkürzen. Das Gewicht der Säule läßt sich aber, wenn d ihre anfängliche Dichte und g die Intensität der Schwere ist, durch dg ausdrücken. Man hat dann $\frac{e}{dg} = \frac{1-\lambda}{\lambda}$, oder $\frac{e}{d} = \frac{g(1-\lambda)}{\lambda}$, oder endlich, da λ im Verhältniß zu 1 nur sehr klein ist, $\frac{e}{d} = \frac{g}{\lambda}$. Daher $v = \sqrt{\frac{g}{\lambda}}$.

Von dieser Formel läßt sich nun Gebrauch machen zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in einer Säule tropfbarer Flüssigkeit, sobald der Werth von λ bekannt ist. Dieser läßt sich aber aus den Erfahrungen über die Zusammendrückbarkeit tropfbarer Flüssigkeiten (s. d. Art.) ableiten. Nimmt man an, daß sich Wasser durch einen Atmosphärendruck um 47,85 Milliontheile seines anfänglichen Volumens zusammendrücken läßt, und daß die Atmosphäre, welche diesen Druck ausübt, gleich einer Quecksilbersäule von $0^m,76$ Höhe bei der Temperatur von 10° oder gleich einer Wassersäule von $10^m,2934$ ist; so würde eine Wassersäule von 1 Meter eine Verkürzung erfahren von $\frac{0,00004785}{10,2934} = 0^m,0000046486$. Substituirt man diesen Werth für λ in obiger Formel, so findet man endlich, daß bei einer Temperatur von 10° die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser 1453 Meter in 1 Secunde beträgt.

Der obigen Formel hat man auch die Gestalt gegeben:

$$v = \sqrt{\frac{9,8088 \,.\, 0,76 \,.\, 13,544 \,.\, 1000000}{D\,C}}$$

wo D die Dichtigkeit der Flüssigkeit im Verhältniß zum Wasser, und C die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeit unter einem Atmosphärendruck ist, ausgedrückt in Milliontheilchen des ursprünglichen Volumens. In dieser Formel hat man nur für D und C ihre numerischen Werthe zu setzen, und die Rechnung auszuführen. Das Ergebniß wird die Geschwindigkeit des Schalles bei einer Temperatur von 10° sein, weil alle Zusammendrückungen der Flüssigkeiten bei dieser Temperatur berechnet sind. Man fand so folgende Resultate:

Geschwindigkeiten des Schalles in verschiedenen Flüssigkeiten bei einer Temperatur von 10°.

Flüssigkeiten	Dichte	Zusammendrückbarkeit unter 1 Atmosphärendruck, in Milliontheilchen des ursprünglichen Volumens	Geschwindigkeit des Schalles in 1 Secunde in Metern
Schwefeläther .	0,712	131,35	1039
Alkohol . . .	0,795	94,95	1157
Salzäther . .	0,874	84,25	1171
Terpentinöl . .	0,870	71,35	1276
Wasser . . .	1	47,85	1453
Quecksilber . .	13,544	3,38	1484
Salpetersäure .	1,403	30,55	1535
Ammoniak, tropfb.	0,9	33,05	1842

Das Wasser ist hier die einzige dieser Flüssigkeiten, welche unmittelbaren Versuchen unterworfen wurde. An allen Zahlen der dritten Reihe haftet die Unsicherheit, welche hinsichtlich der Dichtigkeiten der flüssigen Körper übrig bleiben kann, und die noch größere, die hinsichtlich ihrer Zusammendrückbarkeit möglich ist.

Colladon und Sturm stellten Versuche über die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser auf dem Genfer See an *). Der Schall wurde unter dem Wasser durch das Anschlagen eines durch einen Hebel in Bewegung gesetzten Hammers an eine Glocke hervorgebracht, wobei zugleich durch ein Feuersignal der Beobachter auf der anderen Station, deren Entfernung 13487 Meter betrug, aufmerksam gemacht wurde. Die Beobachter befanden sich in Kähnen; und es war als Station die größte Entfernung gewählt, die Colladon auf dem Genfersee über allseitig hinlänglich tiefem Wasser zu erhalten vermochte. Zur Zeitmessung diente ein mit einem leichten Drücker versehenes Chronometer, welches bis zum Erscheinen des Feuersignals arretirt wurde, dann bis zur abermaligen Arretirung beim ersten Wahrnehmen des Schalles fortging und auf diese Weise die Zeit bis auf 0,25 Secunde genau maß. Zur Wahrnehmung des im Wasser erregten Schalles benutzte man eine 5 Meter lange Röhre, deren unteres weiteres Ende mit einer elastischen Platte aus Blech verschlossen war. Diese wurde ins Wasser gesenkt und das Ohr an die obere Oeffnung der Röhre gehalten; die Schwingungen des Wassers theilten sich dann durch die Platte der Luft in der Röhre und dem Ohre mit. Aus den Versuchen ergab sich als Mittelwerth für die Zeit, welche der Schall im Wasser brauchte, um die genannte Entfernung zurückzulegen, 9,4 Secunden. Hiernach beträgt die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser $\frac{13487}{9,4} = 1435$ Meter in 1 Secunde.

Colladon und Sturm berechneten nun auch die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser nach dem oben (S. 705) mitgetheilten Princip von Laplace, benutzten jedoch dazu eine von Poisson **) aufgestellte Formel für die

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXV. Gilbert's Ann. Bd. LXXXVIII. S. 39.
**) Mém. de l'Instit. pour 1819. p. 396.

Schallgeschwindigkeit, nämlich $v = \sqrt{\frac{Pk}{D\varepsilon}}$, worin D die Dichtigkeit, k die Länge einer Säule unter einem bekannten Drucke, ε die kleine Verkürzung dieser Säule für einen gegebenen Zuwachs im Drucke P ist. Für das zu untersuchende Wasser war $k = 1000000$, $\varepsilon = 49,5$; $P = 0,76 \,.\, g\gamma$, falls man für P den Druck einer Atmosphäre von 0,76 Meter Quecksilberhöhe bei 10° Temperatur nimmt, und γ die Dichtigkeit des Quecksilbers bezeichnet. Das spec. Gewicht des Quecksilbers bei 0° C. gegen Wasser im Zustande seiner größten Dichte ward = 13,568 angenommen, so daß dann, da die Volumensvermehrung des Quecksilbers für 1° C. $= 0,00018$ ist, $\gamma = \frac{13,568}{1,00018} = 13,544$ und $P = 0,76 \,.\, 9,8088 \,.\, 13,544$ ist. Diese Werthe in obige Formel substituirt geben für die theoretische Schallgeschwindigkeit im Wasser 1428 Meter.

Die Geschwindigkeit des Schalles ist, wie man bereits bemerkt haben wird, in tropfbaren Flüssigkeiten größer als in Gasen, im Wasser etwa 4,3 Mal so groß als in der Luft.

Wertheim hat eine Vorrichtung angegeben, die geeignet ist sowohl zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in tropfbaren Flüssigkeiten als auch zur Erregung von Tönen in denselben, worüber man das Nöthige im Artikel Wellenbewegung finden wird.

Die Formel $v = \sqrt{\frac{g}{\lambda}}$ ist auch für starre Körper anwendbar, wo man für λ auch die Verlängerung nehmen kann, welche ein Stab von 1 Meter Länge erfährt, wenn er durch ein dem seinigen gleiches Gewicht ausgezogen wird. Allein diese Verlängerung bleibt nicht dieselbe, wenn der Stab an seinen beiden Enden ausgezogen wird, und übrigens frei ist, oder wenn er an allen Punkten seiner Oberfläche ausgedehnt wird. Manche Physiker nahmen an, daß λ bei festen Körpern den Wechsel des Volumens ausdrücken müsse, den der Stab erfährt, sobald er an allen Punkten durch gleiche Kräfte afficirt wird, und setzten dann für λ $^3/_2$ der Verlängerung, welcher der Stab unterliegt, sobald er nur einfach an seinen beiden Enden ausgezogen wird (s. Art. Elasticität, Bd. II. S. 701 ff.).

Borda fand, daß Messing von einem Meter Länge durch ein dem seinigen gleiches Gewicht um 0,000000077379 Meter zusammengedrückt werde, so daß dann dieser Werth für λ nach obiger Formel die Schallgeschwindigkeit im Messing = 3560,4 Meter giebt.

Chladni *) gab folgende Methode an, um die Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern zu messen. Es sei v die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft, l die Länge einer beiderseits offenen Röhre (Pfeife), und n die Anzahl der Schwingungen, welche die in der Röhre befindliche Luftsäule in 1 Secunde macht, wenn dieselbe ihren Grundton giebt. Die Länge jeder Luftwelle, die hier erregt wird, ist dann gleich l, und die Gesammtlänge der Wellen, welche den n Schwingungen in 1 Secunde entsprechen, gleich nl (s. Art. Wellenbewegung); diese Länge ist aber gleich der Geschwindigkeit v, d. h. dem Wege, welchen der

*) Akustik, S. 265.

Schall in 1 Secunde durchläuft. Es sei nun ferner v' die Geschwindigkeit des Schalles in irgend einem festen Körper, l die Länge eines cylindrischen Stabes aus dieser Substanz, und n' die Anzahl der Longitudinalschwingungen, welche der Stab in 1 Secunde macht, sobald er den Grundton giebt, d. h. der Länge nach schwingt, während seine beiden Enden frei sind. Die Länge einer jeden, in seiner Substanz erregten, Welle ist dann l, und für die Gesammtlänge aller Wellen, welche den n' Schwingungen entsprechen, hat man n'l, und dies ist wieder gleich dem Wege, welchen der Schall in 1 Secunde durchläuft. Man hat also $v' = n'l$. Diese und die vorhergehende Gleichung geben aber $\frac{v'}{v} = \frac{n'}{n}$, woraus folgt, daß man, um die Geschwindigkeit des Schalles in irgend einer festen Substanz zu finden, nur auf den Grundton, den ein der Länge nach schwingender Stab aus dieser Substanz hervorbringt, zu hören, und ihn mit dem Grundton einer offenen Röhre (Pfeife) von derselben Länge zu vergleichen braucht. Das Schwingungsverhältniß zwischen diesen Tönen $\left(\frac{n'}{n}\right)$, multiplicirt mit der Geschwindigkeit v des Schalles in der Luft, giebt als Product die gesuchte Geschwindigkeit. Doch ist es bei dieser Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern gerade nicht nothwendig, daß die Pfeife und der Stab von gleicher Länge sind. Wenn eine offene Pfeife von l Fuß Länge den nämlichen Ton giebt als ein Stab von l' Fuß Länge, so verhalten sich die Geschwindigkeiten des Schalles in beiden, d. h. in der Luft und der festen Substanz des Stabes wie l : l', während in dem Falle, wo die Längen der Luftsäule und des tönenden Stabes gleich sind, die Geschwindigkeiten, wie oben angegeben, im Verhältniß der Schwingungszahlen beider Töne stehen.

Chladni hat nach dem erörterten Princip folgende Tabelle der Geschwindigkeiten des Schalles in verschiedenen festen Körpern gegeben.

Namen der Körper	Geschwindigkeiten im Vergleich zu der in der Luft (= 1)	Geschwindigkeiten in Metern
Fischbein	$6^2/_3$	2266
Zinn	$7^1/_2$	2550
Silber	9	3060
Nußbaumholz, Eibenbaumholz	$10^2/_3$	3624
Messing, Eichenholz, Pflaumenbaumholz	$10^2/_3$	3624
Tabakpfeifenthon	10 12	3400 4080
Rothkupfer	12	4080
Birnbaumholz, Rothbuchen	$12^1/_2$	4250
Ahornholz	$13^1/_3$	4532

Namen der Körper	Geschwindigkeiten im Vergleich zu der in der Luft (= 1)	Geschwindigkeiten in Metern
Acajou-, Eben-, Weißbuchen-, Ulmen-, Erlen-, Birken- } Holz . . .	$14^2/_5$	4896
Linden, Kirschbaum }	15	5100
Weiden, Fichten }	16	5440
Glas, Eisen oder Stahl } . . .	$16^2/_3$	5664
Tannenholz	18	6120

Man sieht, daß der Schall sich in festen Körpern viel schneller als in der Luft fortpflanzt. Wertheim hat übrigens noch gezeigt, daß die Geschwindigkeit des Schalles sowohl in festen als auch in tropfbaren Körpern größer ist, wenn derselbe sich allseitig ausbreiten kann; die angegebenen Zahlen beziehen sich aber auf cylindrische Stäbe. Aus Wertheim's Untersuchungen folgt, daß die Schallgeschwindigkeit in einem Stabe sich zu der in einer relativ unbegrenzten Masse (von derselben Substanz) verhält, wie $1 : \sqrt{3/2}$ oder wie $\sqrt{2} : \sqrt{3}$ (s. d. Art. Wellenbewegung).

Eine der bekanntesten Thatsachen, daß feste Körper den Schall schnell und sehr stark fortpflanzen, ist folgende. Wenn ein Beobachter das Ohr an das eine Ende eines langen, tannenen Balkens legt, so wird er das Geräusch hören, welches man erzeugt, indem man mit dem Barte einer Feder über die Enden der Holzfasern am anderen Ende des Balkens hinfährt, obwohl dieses Geräusch in der Luft so schwach ist, daß es derjenige, welcher es hervorbringt, kaum vernimmt. Der Balken kann 20 bis 25 Meter lang sein. Eben so vernimmt man den Schlag einer Taschenuhr durch einen langen Stab, wie man denn auch bekanntlich den Donner der Kanonen auf eine sehr beträchtliche Entfernung durch die Erde hin hört. Und beiläufig sei hier noch erwähnt, daß nach gewissen Erfahrungen *) der Schall auch längs der Oberfläche des Wassers und langer Mauern leicht und stark fortgepflanzt wird.

Die Intensität oder Stärke des Schalles nimmt mit der Entfernung vom Orte der Schallbewegung ab, und zwar im Verhältniß zum Quadrate der Entfernung. Sonst ist der Schall um so intensiver, je größer die schwingende Oberfläche des tönenden Körpers ist, je dichter das Medium, durch welches sich derselbe fortpflanzt, und je größer der Unterschied zwischen der Dichte des verdichteten und verdünnten Theiles einer Schallwelle ist. Daher ist denn auch der

*) Hutton, Dictionary. T. II. p. 414.

Schall im Wasserstoffgas und in verdünnter Luft schwächer als in Luft von gewöhnlicher Dichte. Gay-Lussac bemerkte, daß seine Stimme in der Höhe, welche er erreicht hatte, schwächer geworden war, und nach Saussure klingt auf der Spitze des Montblanc ein Pistolenschuß schwächer als ein in der Ebene losgebrannter Schwärmer. Ist aber der Schall genöthigt, aus einem Medium in ein anderes von verschiedener Dichte überzugehen, so findet bei jedem derartigen Uebergange eine Reflexion, und in Folge dessen eine Schwächung desselben statt. Dies ist besonders dann der Fall, wenn der Schall aus einem dünneren in ein dichteres Mittel übergeht.

Nach einer Berechnung von Poisson *) hängt die Intensität des Schalles von der Dichte derjenigen Luftschicht ab, in welcher er entsteht, wornach sich denn auch der Schall leichter in die Höhe als nach der Tiefe hin verbreitet.

Es ist bekannt, daß man den Schall des Nachts stärker hört als am Tage, was man theils auf die Stille der Nacht, indem in dieser viele Geräusche, welche der Tag mit sich führt, wegfallen, theils auf die größere Schärfe des Gehörs während der Unthätigkeit des Gesichtssinnes zurückgeführt hat. Es kommt aber noch ein anderer Umstand in Betracht, den A. von Humboldt **) hervorgehoben hat. Dieser beobachtete auf seinen Reisen, daß selbst in öden und stillen Gegenden jener Unterschied in der Stärke des Schalles (bei Tag und Nacht) sehr auffallend sei, und daß hier die Ursache, nämlich der Verstärkung des Schalles während der Nacht, nur in der größeren Gleichförmigkeit in Hinsicht auf die Dichte der atmosphärischen Luft liegen könne. Am Tage wechseln, wegen Einwirkung der Sonnenstrahlen, beständig wärmere Luftschichten mit kälteren, wärmere steigen in kälteren auf und lagern sich über die letzteren, wodurch dann der Schall genöthigt wird, aus dichteren Luftschichten in dünnere und umgekehrt überzugehen, was, aus bereits angeführtem Grunde, eine Schwächung desselben bedingt. Während der Nacht ist die Temperatur gleichmäßiger und in demselbe Maße auch die Dichte der atmosphärischen Luft.

Die Wellenbewegung, welche die objective Ursache des Schalles ist, theilt sich in gewisser Weise unserem Gehörorgane mit, dessen Functionen im Art. Sinnesorgane ihre Auseinandersetzung finden werden.

Schaltjahr, s. Jahr.

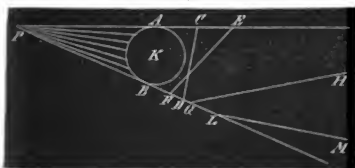
Schatten. Wenn Lichtstrahlen, die von einem selbstleuchtenden Körper nach allen Richtungen geradlinig ausgehen, auf einen undurchsichtigen Körper treffen, so entsteht hinter dem letzteren ein nicht erleuchteter, der Lichtquelle entgegengesetzt liegender Raum, welchen man den Schatten dieses Körpers nennt. Gestalt und Größe des Schattens hängt von der Gestalt und Größe des ihn veranlassenden undurchsichtigen Körpers, aber auch von der Größe und Lage des leuchtenden Körpers im Verhältniß gegen den beleuchteten ab, wie wir dies sehr wohl an den Schatten bemerken können, welche die verschiedenen Gegenstände in einem von einem Lichte beleuchteten Zimmer werfen. Die Schatten entsprechen sämmtlich in ihrer Gestalt den Gestalten der Gegenstände, welche sie erzeugen, aber diese Gestalt dehnt sich bald mehr aus einander, bald zieht sie sich zusammen, bald begiebt

*) Journ. de l'École polyt. Cah. XIV. p. 328.

**) Tableau de la nature. T. II. p. 216. Ann. de Chim. et de Phys. T. XIII. p. 162. Gilbert's Ann. Bd. LXV. S. 31.

sich der Schatten auf die eine, bald auf die andere Seite des Gegenstandes, je nachdem die Stellung des Lichtes verändert wird. In jeder Stellung wird man sich aber die Gestalt, Lage und Größe des Schattens leicht erklären können, wenn man die Art und Weise betrachtet, in welcher für den gegebenen Fall das sich geradlinig fortpflanzende Licht von dem undurchsichtigen Körper abgehalten werden muß. Der Schatten wird uns gewöhnlich auf anderen Gegenständen sichtbar, welche selbst erleuchtet sind und von denen durch den Schatten werfenden Körper nur ein Theil des sie sonst beleuchtenden Lichtes abgehalten wird. Der Schatten desselben Körpers kann nun sehr verschieden ausfallen, je nachdem der Körper, auf dem er erscheint, gegen jenen gestellt ist, durch den er gebildet wird. Man kann sich hiervon überzeugen, wenn man den Schatten eines Körpers mit einer Tafel auffängt, deren Stellung sich verändern läßt.

I.



Es sei nun in nebenstehender Fig. I. P ein leuchtender Punkt, K eine undurchsichtige Kugel; dann wird nur die vordere Hälfte der Kugel beleuchtet sein und hinter die Kugel kein Licht gelangen. Der Schatten wird in diesem Falle ein abgestumpfter Kegel sein, dessen kleinere Grundfläche halbkugelförmig vertieft und rings von einem größten Kreise der Kugel K umgeben ist. Aus den Lehren von den Kegelschnitten folgt aber, daß eine in diesen Schatten in der Richtung CD (senkrecht auf die Axe des Kegels) gestellte Tafel einen vollkommenen Kreis, eine Tafel in der Richtung EF eine Ellipse, eine Tafel in der Richtung GH (parallel PE) eine Parabel, und endlich eine Tafel in der Richtung LM eine Hyperbel als Schatten der Kugel K zeigen wird.

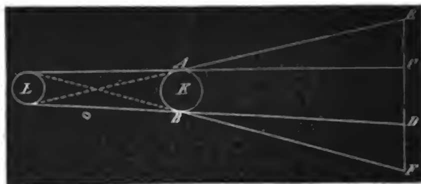
II.



Anders wird die Erscheinung, wenn an die Stelle des leuchtenden Punktes eine leuchtende Kugel L (s. nebensteh. Fig. II.) tritt, welche größer ist als die undurchsichtige Kugel K. Allerdings wird auch hier wiederum nur der vordere dem L zugewandte Theil von K beleuchtet werden können, allein der Schatten wird nicht mehr die Gestalt eines abgestumpften Kegels haben. Jeder Punkt der Kugel L entsendet nach allen Richtungen geradlinige Lichtstrahlen. Die Punkte O und P, welche in einem größten Kreise um L liegen, sind die äußersten Punkte der leuchtenden Kugel, von denen noch Lichtstrahlen nach der Kugel K gelangen können; von diesen und von allen Punkten auf der gegen K gewendeten Halbkugel von L fallen Strahlen auf K. Alle diese auf K fallenden Strahlen werden abgehalten, in den Raum hinter K zu gelangen. Allein man sieht schon aus der Zeich-

nung, daß während nach Q und R von allen Punkten der bezeichneten Halbkugel von L Licht kommt, von S und T viele, aber nicht alle Strahlen, und endlich von U alle Strahlen abgehalten werden. Dieser Raum U, in den gar kein Licht kommt, wird offenbar begrenzt durch die Strahlen der äußersten Punkte im größten Kreise, in welchem O und P liegen, und ist folglich ein Kegel, der bei U seine Spitze und seine Grundlinie in einem größten Kreise AB um K hat. Dieser Schatten wird der Kernschatten der Kugel K genannt, während man den Raum, in den zwar einiges, aber nicht alles Licht frei gelangen kann, den Halbschatten der Kugel nennt. Was diesen letzteren betrifft, so erkennt man leicht, daß er die Gestalt eines abgestumpften Kegels hat, und daß er immer heller wird, sowohl gegen seinen Rand hin, als auch je weiter er sich von K entfernt. Eben so leicht übersieht man aus der beistehenden Fig. I., wenn der leuchtende Körper eine kleinere Kugel als der beleuchtete K ist, daß dann der Kernschatten CABD ein kleinerer abgestumpfter Kegel als der Halbschatten sein wird. — Auf ähnliche Weise läßt sich der Schatten für jede Art von Körpern bestimmen.

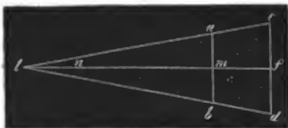
I.



Die Schatten erscheinen des Nachts bei Kerzenlicht gewöhnlich dunkler als am Tage, wo der Schatten eines Körpers meist in den beleuchteten Raum eines anderen fällt. Sonst erscheint der Schatten um so dunkler, je stärker der ihn umgebende Raum beleuchtet ist, weshalb denn auch das stärkste Licht den dunkelsten Schatten hervorruft.

Die Aehnlichkeit der Gestalt des Schattens, der auf einer Ebene aufgefangen wird, benutzt man zur Zeichnung der Umrisse der Körper, namentlich menschlicher Profile. Soll diese Aehnlichkeit scharf und naturgemäß ausgedrückt sein, so muß man sich möglichst nur eines leuchtenden Punktes bedienen, z. B. eines Lichtes, und dieses so anbringen, daß eine durch ihn und den beleuchteten Körper gehende gerade Linie die den Schatten auffangende Ebene senkrecht trifft. Aus dem Vorstehenden folgt aber, daß der Schatten um so kleiner sein wird, je näher die den Schatten auffangende Ebene am schattenwerfenden Körper steht und je weiter das Licht absteht. Der Durchmesser des Schattens wird immer größer sein als der des Schatten gebenden Körpers; und zwar in dem Verhältniß von m + n zu n (s. nebenstehende Fig. II.), wenn n den Abstand des leuchtenden Punktes vom schattenwerfenden Körper und m den Abstand dieses Körpers von der auffangenden Ebene bezeichnet.

II.

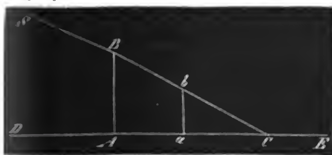


Ist nämlich ab der Durchmesser des Körpers, l der Lichtpunkt, cd der Durchmesser des Schattens, so hat man $cd : ab = m + n : n$.

In dem Vorhergehenden ist immer angenommen, daß das Licht sich nur geradlinig fortpflanze. Dies ist jedoch hier nicht streng richtig, weil das Licht beim Vorübergehen am Rande eines Körpers stets eine Beugung oder Inflexion (s. d. Art. Inflexion) erleidet, so daß auch gebeugte Lichtstrahlen, die allerdings viel schwächer als die directen sind, in den Raum des Kernschattens gelangen können. In Folge dieser Beugung wird denn auch der wirklich sich bildende Schatten etwas kleiner als der durch geometrische Betrachtung in der angegebenen Weise gefundene sein.

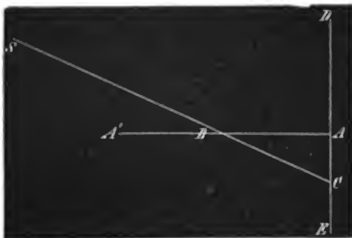
Die Sonne ist am Tage die Lichtquelle, welche den Schatten bewirkt. Da sie nun für die gemäßigte Zone entweder stets südlich oder stets nördlich ist, so haben die Bewohner derselben stets einen Schatten, der bei denen auf der Nordhälfte der Erde immer gegen Norden, bei denen auf der Südhälfte immer gegen Süden gewendet ist; sie werden wegen dieser Einen Richtung ihres Schattens Einschattige genannt. Dagegen haben die um die Pole lebenden Menschen jährlich einen langen Tag, an dem die Sonne rings um den Horizont herumgeht, und da der Schatten der Sonne immer entgegengesetzt bleibt, so geht während dieses Tages folglich auch der Schatten rings um sie herum, und sie heißen daher Umschattige. Die Bewohner der heißen Zone endlich haben jährlich zwei Mal die Sonne gerade über ihren Köpfen, so daß dann ihr Schatten gar nicht sichtbar ist, und sie deshalb Unschattige genannt werden; die übrige Zeit des Jahres steht ihnen die Sonne südlich oder nördlich, und der Schatten ist demgemäß eine Zeit lang südlich und eine andere nördlich, weshalb man sie auch Zweischattige nennt. Diejenigen, welche gerade unter den Wendekreisen wohnen, sind an Einem Tage unschattig und die übrige Zeit des Jahres einschattig.

Die älteren Astronomen haben den Schatten zur Bestimmung der Höhe der Sonne benutzt, d. h. des Neigungswinkels, welchen eine im Auge des Beobachters nach der Sonne gezogene gerade Linie mit der Horizontalebene des Beobachtungsortes macht. DE in beistehender Figur sei die Horizontalebene, auf welcher ein senkrechter dunkler Körper, z. B. ein Stab oder Obelisk (Gnomon) AB aufgerichtet ist; S sei die Sonne, so wirft AB auf die Horizontalebene einen Schatten AC, der durch SBC, die Linie von der Sonne über B, begrenzt wird. In C nehmen wir den Beobachter an, dann ist ACS die Höhe der Sonne, und da AB und AC gemessen werden können, so hat man $\tang ACS = \frac{AB}{AC}$.



Der so gefundene Schatten AC wird der gerade Schatten genannt, zum Unterschiede vom umgekehrten Schatten, den man in folgender Weise findet. DE in der umstehenden Figur ist eine lothrechte Ebene, auf welche der Stab

B A senkrecht steht, und S bezeichnet wieder die Sonne. A C ist nun der umgekehrte Schatten und < A B C = S B A' die Höhe der Sonne, den Beobachter in B angenommen. Man kann wieder B A und A C messen, und findet dann $\tan ABC = \frac{AC}{AB}$.



Es läßt sich hier nun auch leicht einsehen, wie man die Messung eines hohen Gegenstandes mit Hülfe seines Schattens vernehmen kann. A B (s. Figur S. 713) sei ein Obelisk oder Thurm, dessen Höhe man nicht kennt. Man stelle bei a einen Stab a b lothrecht auf, dessen Höhe oder Länge bekannt ist. Es ist dann $Ca : CA = ab : AB$, also $AB = \frac{ab \cdot CA}{Ca}$.

Auf solche Weise kann man die Höhe jedes Körpers bestimmen, vorausgesetzt, daß man A C zu messen im Stande ist. Bei Bergen ist jedoch diese Messung nicht wohl anwendbar.

Wenn ein Körper von mehreren verschiedenen Lichtquellen beleuchtet wird, so zeigt er auch eben so viele Schatten, als Lichtquellen vorhanden sind, aber jeder dieser Schatten rührt nur von einer Lichtquelle her und wird durch die andern Lichtquellen erleuchtet. Haben die Lichtquellen nun verschieden gefärbtes Licht, so kann der Schatten, welcher vom gefärbten Lichte erleuchtet wird, in der Farbe dieses Lichtes erscheinen. Doch können hier auch subjective Farbenerscheinungen auftreten. Wir verweisen bezüglich dieser farbigen Schatten auf den Art. Farbe, Bd. III. S. 52.

Schaufelwerk, s. Wasserhebemaschine.

Scheibe, stroboskopische, s. Stroboskopische Scheibe.

Scheitel heißt bekanntlich beim Menschen der oberste Theil seines Hauptes, und man nennt hiernach den über dem Haupte des aufrecht stehenden Menschen liegenden höchsten Theil des scheinbaren Himmelsgewölbes den Scheitel oder (mit einem ursprünglich arabischen Worte) Zenith. Denkt man sich von diesem durch den Standpunkt des Beobachters eine senkrechte Linie so weit verlängert, bis sie auf der entgegengesetzten Seite wieder das Himmelsgewölbe trifft, so ist der hierdurch bestimmte Punkt der Fußpunkt oder (arabisch) Nadir. Alle am Himmelsgewölbe angenommenen größten Kreise, welche durch Nadir und Zenith gehen und mithin senkrecht auf dem von ihnen halbirten Horizonte (s. d. Art.) stehen, werden Scheitelkreise oder (lat.) Vertikalkreise genannt. Der erste Scheitelkreis ist der, welcher durch den wahren Morgen- und Abendpunkt geht, und mithin auf dem Mittagskreise des Ortes senkrecht steht und ihn halbirt. Man bedient sich der Scheitelkreise, um die Lage der Gestirne zu bestimmen, indem man sich durch den zu bestimmenden Stern einen Scheitelkreis gelegt denkt und den Bogen dieses Kreises zwischen Horizont und Stern mißt. Auf diese Weise erhält

man die Höhe des Sternes. Die Ergänzung dieses Winkels zu 90° ist gleich dem Bogen desselben Scheitelkreises vom Zenith bis zum Sterne, und heißt der Abstand desselben vom Scheitel, oder die Zenithdistanz. Die größte Höhe erreicht ein Stern dann, wenn er sich im Mittagskreise, der ebenfalls ein Scheitelkreis ist, befindet.

Schiefe der Ekliptik ist der Winkel, welchen die Ekliptik und der Aequator mit einander bilden, wie bereits in dem Art. Ekliptik, Bd. II. S. 681 angegeben ist. Die Deklination oder Abweichung (s. diesen Art. Bd. I. S. 46) der Sonne zur Zeit der Sonnenwenden (s. diesen Art.) oder Solstitien ist das Maß dieses Winkels. Um die Schiefe der Ekliptik zu bestimmen, müßte man also zunächst die Aequatorhöhe des Ortes kennen, an welchem die Beobachtungen angestellt werden sollen.

Gesetzt in beistehender Figur sei HO der Horizont eines Beobachters in C, Z sein Zenith, N sein Nadir, AQ der Aequator, P der Nordpol und P′ der Südpol, so ist der Bogen HP die Polhöhe und AO die Aequatorhöhe. Da wir die Polhöhe bestimmen können (s. Artikel Polhöhe, Bd. V. S. 468), und HP = ZA sein muß, so haben wir auch AO = ZO — ZA oder 90° — HP, d. h. wir finden die Aequatorhöhe, wenn wir die Polhöhe von 90° subtrahiren. Hat man nun die Mittagshöhe der Sonne zur Zeit eines Solstitiums beobachtet, so ist diese Höhe der Sonne weniger der Aequatorhöhe die Schiefe der Ekliptik.

Ohne vorherige Kenntniß der Aequatorhöhe findet man die Schiefe der Ekliptik aus der Beobachtung der Sonnenhöhe zur Zeit der beiden Sonnenwenden eines Jahres. Da nämlich der Aequator und die Ekliptik beide größte Kreise der Himmelskugel sind, so muß die Ekliptik auf der einen Seite genau eben so hoch über dem Aequator stehen, als sie auf der anderen Seite unter demselben steht, d. h. wenn die Sonnenhöhe in dem einen Solstitium z. B. = OE und in dem anderen = OK ist, so muß AE = AK sein. Man mißt also die Mittagshöhe der Sonne im Sommer- und im Wintersolstitium, und nimmt den halben Unterschied beider; denn $\frac{OE - OK}{2}$ ist $\frac{1}{2}$ EK, also sowohl AE, als AK.

Mit einer einmaligen Beobachtung an den Tagen der Solstitien ist die Sache allerdings nicht abgemacht. Man muß um die Zeit des Solstitiums jeden Tag die Mittagshöhe der Sonne bestimmen, und nur dann, wenn die Zeit des Solstitiums mit der Culmination zusammenfiel, war die größte beobachtete Deklination, d. h. Abweichung von dem Aequator, die Schiefe der Ekliptik. Da dies Zusammenfallen in der Regel nicht stattfinden wird, so muß man die größte Deklination aus den beobachteten erst ableiten, indem man die Zeit sucht, für welche die erste Differenz der beobachteten Deklinationen Null war und für diese Zeit die Deklination durch Interpolation ermittelt. Ein gleiches Verfahren zur Zeit des ein halbes Jahr später eintretenden Solstitiums müßte denselben Werth für die Schiefe der Ekliptik ergeben.

Jede zwei Beobachtungen des Rectascensionsunterschiedes (s. Art. Aufsteigung, Bd. I. S. 569) der Sonne und eines Sternes und der Deklination der Sonne geben indessen ebenfalls die Schiefe der Ekliptik, selbst wenn die Rectascension des Sternes, die sich dann gleichfalls bestimmen läßt, noch unbekannt sein sollte. Dies näher zu erläutern würde uns indessen zu weit führen. Eben so führen wir nur an, daß man die Schiefe der Ekliptik bestimmen kann aus der Beobachtung der Sonne in der Nähe eines der Solstitialpunkte, wenn man die Lage des Frühlingspunktes wenigstens näherungsweise kennt *).

Anaximander soll **) die Schiefe der Ekliptik schon bestimmt haben. Bekannt sind vier Bestimmungen aus der Zeit vor Christi Geburt und 7 nach derselben bis zu Ulugh Beg's Beobachtungen auf der Sternwarte zu Samarkand ***). Wir führen folgende an:

Tscheu-kung in China 1104 v. Chr.	23° 54′ 0″
Pytheas zu Marseille 350 v. Chr.	23° 49′ 20″
Ibn-Junis in Aegypten 1000 n. Chr. . . .	23° 34′ 26″
Ko-schu-King 1280 n. Chr.	23° 32′ 2″
Ulugh Beg in Samarkand 1437 n. Chr. .	23° 31′ 48″
Bradley in England 1750 n. Chr. . . .	23° 28′ 18″

In diesen Angaben bemerkt man eine Verschiedenheit, deren Grund man entweder in Beobachtungsfehlern oder in einer Veränderung in der Schiefe der Ekliptik zu suchen hat. Man könnte das Erstere anzunehmen geneigt sein; aber der Umstand, daß eine ziemlich regelmäßige Abnahme dieser Schiefe aus der Vergleichung der Bestimmungen sich ergiebt, spricht für die zweite Annahme. In der That hat man es auch durch Verbesserung der astronomischen Werkzeuge bereits so weit gebracht, daß man die Abnahme der Schiefe der Ekliptik schon innerhalb eines Zeitraumes von 5 Jahren deutlich bemerken kann, und die mathematische Behandlung aller im Sonnensysteme gegen einander wirkenden Kräfte hat die Ursache und die genaue Bestimmung ihrer Wirksamkeit, welche jener Abnahme zu Grunde liegt, kennen gelehrt. Die Ursache ist der Einfluß der sämmtlichen Planeten des Sonnensystems auf einander, indem ihre gegenseitigen Anziehungen eine Aenderung der Neigungen der Planetenbahnen gegen einander und (s. Art. Nachtgleichen, Bd. V. S. 4) eine Bewegung der Knotenlinien hervorbringen. Da hierbei der Erdäquator keine Aenderung erleidet, so resultirt eine Aenderung der Schiefe der Ekliptik und (s. Art. Nachtgleichen) die Präcession durch die Planeten.

Man hat die jährliche Veränderung der Schiefe der Ekliptik durch die Planeten näher bestimmt und für die Schiefe der Ekliptik selbst folgende Formel gefunden, in welcher t die Jahre von 1750 an gerechnet bedeutet:

Schiefe der Ekliptik für 1750

$$+ t = 23^{\circ}\,28'\,18'',0 - t\,0'',48368 - t^2\,0'',0000272295$$

und jährliche Aenderung $= - 0'',48368 - 0'',0000054459\,(t - 1750)$.

Für diesen von Bessel angegebenen Werth der jährlichen Abnahme der Schiefe der Ekliptik hat Peters durch Anordnung der neuesten Werthe der Planetenmassen ein etwas kleineres Resultat erhalten, nämlich 0″,4738.

---

*) Vergl. Brünnow, Lehrbuch der sphärischen Astronomie. Berlin 1851. S. 166.
**) Plinius, hist. nat. II. cap. 8.
***) v. Humboldt, Kosmos, Bd. III. S. 454.

Die alten Beobachtungen werden durch diese Entdeckung auf das Ueberraschendste bestätigt, indem man die aus der Rechnung und Beobachtung sich ergebende Differenz einem Beobachtungsfehler zuschreiben kann, der für die damalige Zeit volle Entschuldigung beanspruchen darf. Die genaueren Untersuchungen haben auch gezeigt, daß die Abnahme der Schiefe der Ekliptik nicht immerwährend fortschreitet, bis diese endlich = 0 wird, d. h. bis Ekliptik und Aequator zusammenfallen, sondern daß vielmehr der Werth innerhalb enger Grenzen schwankt. Die Theorie von Laplace *) stimmt für einen Zeitraum von fast 3000 Jahren mit den Beobachtungen wunderbar überein. Nach demselben oscillirt die Schiefe der Ekliptik nach beiden Seiten nur um $1^1/_2$ Grad nach beiden Seiten um ihre mittlere Lage. Biot **) nimmt auch nur enge Grenzen an, fesselt sich jedoch nicht an bestimmte Zahlen. Jetzt findet bei der Schiefe der Ekliptik eine Abnahme statt; nach Verlauf von vielen tausend Jahren wird die Lage der Planetenbahnen und ihrer Knoten sich so wesentlich verändert haben, daß das Vorwärtsgehen der Nachtgleichen in ein Rückwärtsgehen sich verwandelt, und somit die Schiefe der Ekliptik wachsen wird. Der Theorie nach sind die Perioden der Zu- und Abnahme von sehr ungleicher Dauer. Man hat berechnet, daß etwa 29400 v. Chr. die Schiefe der Ekliptik am größten = 27° 31′ war, daß sie dann 15000 Jahre abnahm, bis sie 14400 v. Chr. am kleinsten = 21° 20′ war; dann wuchs sie wieder bis zu 23° 53′ um 2000 v. Chr., also 12400 Jahre lang, und nimmt seitdem ab. Diese Abnahme wird etwa 8600 Jahre dauern, so daß um 6600 n. Chr. die Schiefe der Ekliptik einen kleinsten Werth von 22° 54′ erreicht haben wird, dann wird sie wieder 12700 Jahre wachsen und im Jahre 19300 n. Chr. einen größten Werth von 25° 21′ erreichen u. s. f.

Legen wir die jährliche Aenderung von Peters zu Grunde, so würde für 1858 die Schiefe der Ekliptik 23° 27′ 27″ betragen. H. E.

Schiefe Ebene, s. Ebene.

Schiff bezeichnet überhaupt ein großes Wasserfahrzeug. Je nach dem Zwecke, welchen dasselbe erfüllen soll, unterscheidet man Kriegsschiffe, Kauffahrtei- oder Handelsschiffe und kleinere Schiffe, als Boote, Gondeln, Schaluppen und dergleichen. Ist ein Schiff zur Fahrt auf dem Meere eingerichtet, so nennt man es ein Seeschiff; die nur auf Flüssen oder überhaupt mehr ruhigem Wasser zu gebrauchenden sind die Flußschiffe. Wird das Schiff durch den Wind fortgetrieben, indem dieser auf Segel wirkt, so heißt es Segelschiff; liefert Dampf die bewegende Kraft, so ist es ein Dampfschiff oder Dampfboot.

Auf alle bei den Schiffen zur Sprache kommende Verhältnisse einzugehen, würde uns hier zu weit führen. Wir beschränken uns daher auf einige physikalische Fragen, und werden diesen Artikel mehr als eine Ergänzung des Artikels Dampfmaschine ins Auge fassen, zumal unter Art. Dampfschiff hierher verwiesen ist.

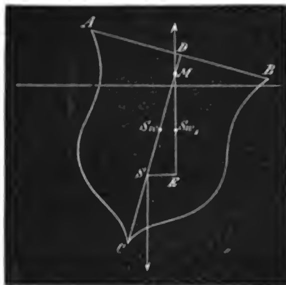
Soll ein Körper schwimmen, so muß die von ihm verdrängte Flüssigkeit so viel wiegen, wie der ganze Körper selbst. Bei einem beladenen Schiffe muß also das Gewicht des verdrängten Wassers dem absoluten Gewichte des Schiffes

*) Expos. du Syst. du Monde. ed. 1824. p. 303.
**) Traité d'Astronomie phys. 3me edit. 1847. T. IV. p. 91.

sammt der Ladung gleich sein, während bei dem leeren Schiffe natürlich nur das Gewicht des Schiffes in Betracht kommt. Das leere Schiff taucht mithin nicht so tief ein, als das beladene. In der Regel ist bei den Schiffen eine Aichscala angebracht. Der Nullpunkt der Scala bezeichnet die Tiefe, bis zu welcher das leere Schiff eintaucht; die Eintheilung schreitet dann fort bei kleineren Fahrzeugen nach Centnern, bei größeren nach Schiffslasten und wird in der Regel auf empirischem Wege gefunden, da die Berechnung, wegen der Form des Schiffes, mit Schwierigkeiten verbunden ist und nicht die nöthige Genauigkeit liefern würde.

Besonders wichtig ist, daß das Schiff stabil schwimmt, also nicht leicht umschlägt oder kentert, wenn es auch auf die Seite geneigt ist. Es kommt hierbei auf das sogenannte Metacentrum an, und es ergiebt sich, daß die Stabilität eines Schiffes um so größer ist, je tiefer sein Schwerpunkt unter dem Metacentrum liegt. Das Nähere über die Stabilität beim Schwimmen enthält Art. Statik tropfbar flüssiger Körper; wir erwähnen daher hier nur Folgendes.

In beistehender Figur stelle ABC den Querschnitt eines Schiffes vor, CD die Symmetrieebene, durch welche also das Schiff in zwei symmetrische Theile in der Richtung von hinten nach vorn getheilt wird; bei aufrechter Stellung des Schiffes liege der Schwerpunkt desselben in S und der des verdrängten Wassers in Sw. Nehmen wir an, daß das Schiff z. B. durch von der Seite kommenden Wind eine Neigung erhalte, die Seite BCD tiefer eintauche, dafür ACD zum Theil aus dem Wasser heraustrete, so beträgt die verdrängte Wassermasse auf der Seite BCD mehr, als die auf der Seite ACD und der Schwerpunkt des Wassers ist mithin aus der Symmetrieebene heraus in die mehr eintauchende Hälfte gerückt. Es liege der Schwerpunkt des Wassers z. B. nun in Sw_1. Da das verdrängte Wasser so viel als das ganze Schiff wiegt, so wirkt, wenn dies Gewicht G ist, in S eine Kraft, deren Maß G ist, vertical abwärts und in Sw_1 eine eben so starke vertical aufwärts. Der Punkt M, in welchem die durch Sw_1 gehende Kraft die Symmetrieebene schneidet, heißt das Metacentrum. Es wirkt nun das in S vereinte Gewicht des Schiffes um den Punkt M wie ein Pendel um seinen Drehpunkt oder wie ein Gewicht in einer Wagschale. Das Moment der abwärts ziehenden Kraft G in S ist, wenn SE senkrecht auf MSw_1 gezogen wird, G . SE oder G . SM sin SME. Es ist also dies Moment um so größer, je größer SM ist, d. h. das Bestreben des Schiffes sich wieder vertical zu stellen, ist um so stärker, je tiefer der Schwerpunkt des Schiffes unter dem Metacentrum liegt; eben so je größer G, d. h. je schwerer das Schiff beladen ist, endlich je größer $\angle$ SME wird, d. h. je größer die Neigung des Schiffes ist. Die Stabilität des Schiffes würde = 0 sein, wenn S mit M zusammenfiele.



Es ergiebt sich hieraus, daß bei dem Beladen eines Schiffes es darauf ankommt, den Schwerpunkt möglichst tief zu erhalten, d. h. die specifisch schwersten

Gegenstände in den untersten Theil des Schiffsraumes zu bringen. Seeschiffe, welche eine Holzladung an Bord nehmen, laden am liebsten zuerst Metalle, z. B. Zink ein. Eben so leuchtet die Gefahr ein, der ein Schiff ausgesetzt ist, wenn es unbelastet in See geht, weil dann der Schwerpunkt nicht tief genug liegt. Die Einnahme von Ballast wenigstens in solcher Menge, daß das Schiff ausreichend stabil wird, ist also eine nothwendige Bedingung. Diese Andeutungen müssen hier genügen. Ausführlichere Erörterung findet sich z. B. im Handbuch der Mechanik von v. Gerstner, Bd. II. §. 54 bis 56.

In Betreff der Segelschiffe ist die Frage nach der günstigsten Stellung der Segel von besonderer Wichtigkeit. Wir verbinden mit der Lösung dieser Aufgabe zugleich den Nachweis, daß unter Umständen bei derselben Windrichtung nach entgegengesetzten Richtungen gesegelt werden kann.

In beistehender Fig. I. sei AB, in Fig. II. ab die Kielrichtung eines Schiffes; ersteres hat in CE ein Segel und will mit dem Winde DC in der Richtung von B nach A vorwärts, das andere hat in ce ein Segel und will mit dem Winde dc

I. II.

in der Richtung von b nach a vorwärts. CD sei $= cd = W$, $< ACD = < bcd$, $< ACE = \beta$, $< ECD = \alpha$, ebenfalls $< ace = \beta$ und $< ecd = \alpha$, ohne daß jedoch $< ACE = < ace$ und $< ECD = < ecd$ sei.

Drückt DC die Richtung und Stärke des Windes aus, so zerlege man diese Kraft in eine auf das Segel CE senkrechte und in eine mit demselben parallele Kraft. Um die Figur nicht zu überladen, zeichnen wir nur die Hälfte des Parallelogrammes der Kräfte, nämlich DEC und erhalten also in DE die Kraft, welche mit voller Stärke das Segel aufschwellen würde. Diese Kraft DE braucht jedoch nicht parallel AB zu sein und deshalb zerlegen wir sie wiederum in zwei Kräfte, von denen die eine senkrecht, die andere parallel dem Kiele wirkt. DFE sei hier wiederum nur die Hälfte des Kräfteparallelogrammes und also FD die zum Kiele senkrechte und FE die zum Kiele parallele Kraft. Da die Kraft FD das Schiff nach der Breitseite abtreiben will, hier aber eben wegen der breiten Fläche des Schiffes der Widerstand zu groß ist, so wird diese Wirkung im Allgemeinen zu vernachlässigen sein, wiewohl sie die Abtrift bewirkt. Die Kraft FE hingegen wirkt in der Richtung des Kieles vorwärtstreibend, und da das vorn mehr oder weniger scharf gebaute Schiff mit seinem Buge das Wasser leichter durchschneidet, so wird FE die Kraft vorstellen, mit welcher der von der Seite wehende Wind das Schiff vorwärts treibt. Es fragt sich also, unter welchen Umständen FE möglichst groß wird.

Ist FE = x und DC = W, so ist x = DE . sin EDF = DE . sin ACE = DE . sin β; aber DE = DC . sin DCE = W . sin α;

folglich $x = W . \sin \alpha . \sin \beta$, also auch

$$x = \frac{W}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)].$$

Dieser Werth wird ein Maximum, wenn $\alpha = \beta$ ist; folglich ist die vortheilhafteste Stellung des Segels diejenige, bei welcher das Segel den Winkel halbirt, welchen die Richtung des Windes auf der Lee- (Wind-) Seite des Schiffes mit der Richtung des Kieles nach dem Buge hin macht.

Es geht dies auch aus der Betrachtung hervor, daß FE am größten wird, wenn E auf der Mitte des Bogens GCED liegt.

Genau zu demselben Resultate gelangen wir bei Fig. II. und wir haben eben deshalb dieselben Bezeichnungen wie bei Fig. I. gewählt, um die Widerholung uns ersparen zu können. Daß man nach entgegengesetzten Richtungen mit demselben Winde segeln kann, geht aus der gegebenen Construction ohne Weiteres hervor. Ist $\alpha + \beta > 90^0$, so ist $\cos(\alpha + \beta)$ negativ, folglich der Werth für x größer als für $\alpha + \beta < 90^0$. Ist $\alpha + \beta = 90^0$, so ist in beiden Fällen $x = \frac{W}{2}$ bei der günstigsten Segelstellung.

Die Unbeständigkeit des Windes, namentlich sein häufiges Aussetzen, beeinträchtigte die Verwendung der Segelschiffe von jeher. Man war bei windstillem Wetter genöthigt zum Ruder zu greifen, und daher kann es uns nicht Wunder nehmen, daß man gleich bei Erfindung der Dampfmaschine an die Construction von Dampfschiffen dachte; denn die Vortheile der Verwendung einer nach Belieben zu Gebote stehenden, sich gleichbleibenden großen Kraft mußten sofort für die Schifffahrt in die Augen springen. Daher finden wir, daß bereits 1702 Savary dahin zielende Vorschläge machte. Die ersten Versuche fielen indessen nicht eben günstig aus. Erst das Unternehmen Fulton's (gest. 1815, 54 Jahr alt) wurde entscheidend. Dieser begann mit Livingston 1806 zu Newyork den Bau eines Dampfschiffes von ansehnlicher Größe und brachte 1807 den Dampfer Clermont zu Stande, welcher auf dem Flusse Hudson in 1 Stunde 5 engl. Meilen zurücklegte, 160 Tonnen à 20 Centner trug, und mit einer Maschine von Bulton und Watt ausgerüstet war, die mit Holz geheizt wurde *).

Seitdem hat sich die Dampfschifffahrt immer mehr vervollkommnet. 1814 und 1815 bauten die Amerikaner bereits eine Dampffregatte, welche den Namen Fulton erhielt. In England wurde der erste Versuch von Bedeutung und Erfolg 1812 auf der Clyde bei Glasgow ausgeführt. Das von Bell gebaute Dampfschiff der „Comet" hatte indessen nur die Kraft von 3 Pferden und war nur 40′ lang und $10^1/_2$′ breit. Wie sehr stechen diese Dimensionen ab gegen den Riesendampfer „Great Eastern", dessen Bau man 1857 unternommen hat! Dies Schiff soll 22500 Tonnen Last tragen, mit 15 Knoten Geschwindigkeit fahren, also in 1 Stunde 15 Seemeilen zurücklegen, und 12000 Menschen beherbergen können. Die Länge ist auf 680′, die Breite auf 83′, die Tiefe von

*) Ich benutze hierbei meine Schrift: Die Dampfmaschine. Ein Wegweiser in die Dampfmaschinenkunde von H. Emsmann. Leipzig 1858.

Decke bis zum Kiele auf 60′ berechnet; es soll 4 Verdecke erhalten, und die Hauptcajüte wird 400′ lang sein bei einer Höhe von 15′. Das dazu verwendete Eisen ist auf 200000 Centner veranschlagt; der Tiefgang im Wasser wird 28′ betragen; es ist mit 5 Masten ausgerüstet; führt 10 Kessel mit 5 Schornsteinen und wird gleichzeitig durch Schaufelräder und eine vierflügelige Schraube von 23′ Durchmesser getrieben werden. Die Gesammtkosten sind auf 597,195 Pfd. Sterling veranschlagt, von denen 25000 Pfd. allein auf das Vom-Stapel-Lassen kommen.

In Preußen erhielt bereits Humphry 1815 ein Patent auf seine Dampfschiff-Construction. Er baute deren mehrere; das erste hieß „Prinzessin Charlotte" und fuhr zwischen Berlin, Charlottenburg und Potsdam. Das erste Dampfschiff auf der Elbe war der „Kronprinz von Preußen", vom Stapel gelassen am 15. August 1837.

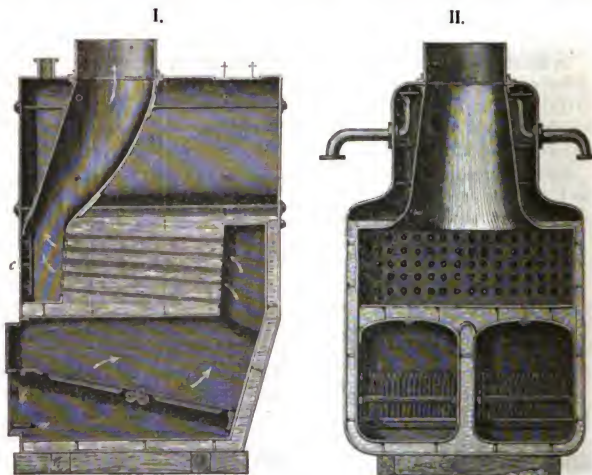
1838 fuhr das Dampfschiff „Great Western" zuerst über den atlantischen Ocean von Bristol nach New-York. Im Juli 1857 legte das Dampfschiff „Persia" die Fahrt von New-York nach Liverpool in 9 Tagen 1 Stunde und 15 Minuten zurück, die größte bis dahin erreichte Geschwindigkeit, nämlich im Durchschnitt 14 Seemeilen in einer Stunde.

Die Räumlichkeiten zwingen auf einem Schiffe, welches durch einen von Dampf getriebenen Mechanismus in Bewegung gesetzt werden soll, in Betreff der Dampfmaschine eben so wie bei den Locomotiven, wenn auch nicht immer in demselben Maße, zur größten Einschränkung in den Dimensionen. Der Kessel wird so klein, so wirksam und in jeder Hinsicht so sicher als nur möglich construirt, und eben so wird auf die Concentration der eigentlichen Maschine im äußersten Grade Bedacht genommen.

Die Wahl des Kessels richtet sich nach der zu verwendenden Dampfmaschine. Arbeitet die Maschine mit Niederdruck, so bedient man sich entweder des eigentlichen Schiffsdampfkessels mit innerer Feuerung und senkrechten Wasserkammern, dessen Beschreibung im Art. Dampfmaschine, Bd. II. S. 324 gegeben ist, oder des Cylinderkessels mit innerer Feuerung, also des Cornwallkessels, dessen Einrichtung an derselben Stelle S. 323 sich findet. Da der letztere Kessel einen größeren Raum beansprucht, so trifft man ihn jetzt höchstens noch auf den größeren Schiffen an. Ist die Maschine eine Hochdruckmaschine, so nimmt man den a. a. O. S. 323 erläuterten Cylinderkessel mit äußerer Feuerung, wie es auf den Dampfschiffen des Mississippi gewöhnlich geschieht, oder den für den Gebrauch auf Schiffen abgeänderten Locomotivkessel.

Die auf Schiffen verwendeten Röhrenkessel haben in dem Art. Dampfmaschine keine nähere Beschreibung erfahren; wir sehen uns daher genöthigt, dieselbe hier mit Bezug auf die als bekannt vorausgesetzte Einrichtung des Locomotivkessels (a. a. O. S. 325) noch kurz zu liefern. Es unterscheiden sich diese Kessel von den Locomotivkesseln besonders dadurch, daß — da sie wegen der Räumlichkeit weniger lang, als hoch construirt werden müssen — der Feuerraum sich unter dem Kessel befindet, und das Feuer dann durch die Heizröhren von hinten nach vorn schlägt, während bei den Locomotivkesseln die Feuerung sich vor dem Kessel befindet und der Zug durch die Heizröhren von vorn nach hinten gerichtet

ist. Der Schornstein ist deshalb bei diesem Schiffskessel auch vorn angebracht und geht durch den oberen Theil des Kessels hindurch. Die beiden hier beigefügten Zeichnungen bedürfen nach dieser Angabe und nach diesem Vergleiche mit dem Locomotivkessel weiter keiner Erläuterung. Fig. I. stellt den Längsschnitt eines solchen Kessels dar, Fig. II. den Querschnitt. Nur das sei bemerkt, daß unter



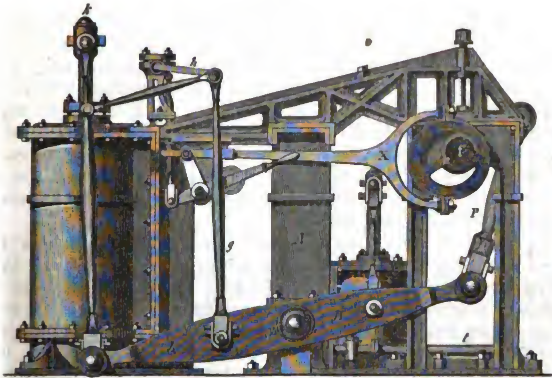
dem Roste bei a ein Rohr mündet, welches von den Sicherheits- und Probeventilen ausgeht und das aus diesen entweichende Wasser in den Aschenfall leitet, ferner daß bei b eine Querstange zum Auflegen des Schürhakens angebracht ist, und daß bei c sich eine Thür befindet, um bei nöthig werdender Reinigung den Zugang in den Schornstein und zu den Heizröhren zu gestatten.

Der Schiffsraum, in welchem der Kessel seine Aufstellung erhält, muß gehörig gegen Feuersgefahr geschützt sein, namentlich ist in dem eigentlichen Heizraume Alles von Metall anzufertigen und Holz zu vermeiden. Der Boden des Kesselraumes besteht aus Eisenplatten über einer Lage von Ziegeln und zwischen dem Kessel und der Schiffswand soll so viel Raum sein, daß man um denselben rund herum gehen kann.

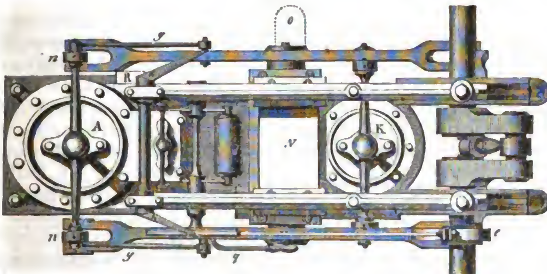
Die Maschine ist, wie bereits bemerkt wurde, entweder eine Niederdruck- oder Hochdruck-Maschine. Die verschiedensten Systeme finden hierbei Verwendung, z. B. oscillirende Cylinder (Art. Dampfmaschine S. 415. Fig. I., II. und III.), rotirende Cylinder (a. a. O. S. 416. Fig. II.), liegende Cylinder (a. a. O. S. 360), eben so stehende Cylinder (a. a. O. S. 358 und 367). Die Niederdruckmaschine von Watt erforderte die meiste Umänderung

in der Disposition der einzelnen Theile und deshalb geben wir von ihrer gewöhnlichen Einrichtung einen Aufriß (Fig. I.) und einen Grundriß (Fig. II.).

I.



II.



A ist der Dampfcylinder; die Kolbenstange trägt an ihrem Ende k ein Querhaupt n n (Fig. II.), von dessen Enden n n Lenker herabgehen, die unten in Balanciers B B eingreifen, deren zwei zu den Seiten des Cylinders vorhanden sind, von denen jedoch in Fig. I. nur der eine zu sehen ist. Die Geradführung der Kolbenstange führen die Lenkstangen und Streben g und h aus. Die anderen Enden der Balanciers sind verbunden, und von da geht eine Pleuelstange P zur Kurbel der Welle f, welche die Schaufelräder des Schiffes trägt. R ist das Dampfrohr; die Steuerung geschieht mittelst eines Röhrenschiebers (s. Art. Dampfmaschine S. 370) und eines zur Umsteuerung eingerichteten Excentrics e (Fig. II.,

vergl. Art. Locomotive, Bd. IV. S. 614), zu dessen leichterer Handhabung das Gegengewicht d (Fig. II.) angebracht ist; die Umsteuerung vollzieht der Maschinist mittelst des Hebels q. Der Condensator liegt als flacher Raum unter der Maschine, das Einspritzrohr befindet sich bei l (Fig. I.); k (Fig. II.) ist die Luftpumpe, N der Ausgußkasten, O das Ableitungsrohr.

Ein Hauptgesichtspunkt bei dieser Disposition war, den Schwerpunkt der Maschine so tief wie möglich im Schiffsraume zu legen; deshalb kam der Balancier nach unten, wodurch das hohe Gerüst, welches denselben gewöhnlich trägt, erspart wurde. In der Regel bringt man bei Dampfschiffen, welche über 80 Pferdekräfte nöthig machen, zwei solcher Maschinen zugleich an, jedoch so, daß die Kurbeln beider unter rechten Winkeln zu einander stehen, wodurch das Schwungrad erspart, und eine leichte Ueberwindung der todten Punkte erzielt wird. Eine Verbindung zweier Maschinen in dieser Art nennt man Zwillingsmaschine. Bei einer einzelnen Maschine müssen die Schaufelräder oder andere Theile des Bewegungsmechanismus das Schwungrad ersetzen.

In Betreff des Bewegungsmechanismus der Dampfschiffe hat man drei Systeme zu unterscheiden: a) das System der Schaufelräder; b) das System der Schraube und c) das System der Reaction. Die Idee des ersten ist hergenommen von der gewöhnlichen Art zu rudern, die des zweiten vielleicht von der Holzschraube oder dem Pfropfenzieher oder Fischschwanze (?) und die des dritten von der Rakete. Das erste System ist am ausgebildetsten, scheint aber seinen Höhepunkt erreicht zu haben, denn das zweite droht es zu verdrängen; das dritte beginnt erst Erfolg zu zeigen.

a. Raddampfer.

Bei dem Systeme der Schaufelräder, bei den sogenannten Raddampfern, wirkt die Dampfmaschine auf Schaufelräder, d. h. kreisförmig bewegte, an den beiden Seiten des Schiffes angebrachte Räder, an deren Peripherie Schaufelbretter sich befinden, welche bei ihrem Durchgange durch das Wasser wie Ruder wirken und das Schiff vorwärts treiben. Bedenken wir, daß ein einzelnes Ruder, nachdem es durch das Wasser gedrückt ist, gehoben und dann wieder zu einem neuen Ruderschlage gesenkt werden muß, so leuchtet ein, daß hierbei ein bedeutender Zeitverlust stattfindet, der fast ganz wegfällt, wenn möglichst bald nach dem Austreten der einen Schaufel aus dem Wasser eine neue eingreift. Das Schaufelrad ist in Wahrheit ein Ruderrad, denn jede Schaufel repräsentirt ein Ruder. Das Schaufelrad würde daher dann am zweckmäßigsten sein, wenn durch dasselbe eine gleichförmige, ununterbrochene Wirkung erfolgen könnte, d. h. die Anzahl der Schaufeln so groß wäre, daß alles zwischen dieselben tretende Wasser die Geschwindigkeit der Schaufeln annehmen müßte.

Die Ebene der Schaufeln geht verlängert durch die Axe des Rades; in der Regel finden sich 8 bis 15 Schaufeln an einem Rade, je nach dessen Größe, und gewöhnlich tauchen 2 oder 3, selbst 4 in das Wasser. Es kann jedoch nur eine einzige als den ganzen Widerstand hervorbringend angesehen werden, d. h. senkrecht auf die Richtung der Bewegung durch das Wasser wirkend. Der Widerstand der umgedrehten Schaufeln muß, wenn die Geschwindigkeit erhalten werden soll, welche das einmal bewegte Schiff bereits angenommen hat, dem Widerstande

des Schiffes bei dieser Geschwindigkeit nach der Richtung seiner Bewegung selbst gleich sein.

Ist der Flächeninhalt einer Schaufel = f, so erhalten wir für zwei Räder 2 f. Wir wollen 2 f = a setzen und die Geschwindigkeit, welche dem Mittelpunkte der Schaufel zukommt, mit C bezeichnen; außerdem sei $\varphi = \frac{p}{C^2}$, wo p den Widerstand ausdrückt. Dann haben wir folgende Fälle zur Bestimmung des Widerstandes.

1) Das Schiff stehe still im ruhigen Wasser und die Schaufel bewege sich mit der Geschwindigkeit = C in der Richtung von dem Vordertheile nach dem Hintertheile; so ist der Widerstand in der Richtung des Vordertheiles $= a\varphi C^2$.
2) Bewegt sich das Schiff mit der Geschwindigkeit = v vorwärts, während die Ruderräder mit der Geschwindigkeit = C in Bewegung sind, so geht von der Kraft, mit welcher die Schaufeln im Wasser bewegt werden, ein Theil $= a\varphi v^2$ verloren.
3) Der Widerstand, welchen die Schaufel an dem durch die Wirkung des Ruderrades vorwärts bewegten Schiffe im ruhenden Wasser erleidet, ist also $= a\varphi C^2 - a\varphi v^2 = a\varphi (C^2 - v^2)$.
4) Fließt das Wasser dem bewegten Schiffe entgegen mit der Geschwindigkeit = c, so geht ein Theil der Kraft $= a\varphi (c + v)^2$ verloren und der Widerstand der Schaufeln in der Bewegung des Schiffes stromaufwärts ist mithin $= a\varphi C^2 - a\varphi (c + v)^2 = a\varphi [C^2 - (c + v)^2]$.

Das mechanische Moment des Widerstandes der Schaufeln oder der Wirkung der Ruderräder, folglich der Kraft der Dampfmaschine, welche dieselben in Bewegung setzen soll, ist daher

für stillstehendes Wasser

$$E = a\varphi (C^2 - v^2) C, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

für die Bewegung des Schiffes stromaufwärts

$$E = a\varphi [C^2 - (c + v)^2] C, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

für die Bewegung des Schiffes stromabwärts

$$E = a\varphi [C^2 - (v - c)^2] C. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Wenn das Schiff die Geschwindigkeit = v, mit welcher es sich im ruhenden Wasser gleichförmig fortbewegt, erlangt hat, so muß der Widerstand, den die Schaufeln zu Gunsten der Vorwärtsbewegung erzeugen, gleich sein dem Widerstande des Schiffes, also:

$$A\varphi v^2 = a\varphi (C^2 - v^2),$$

$$\text{folglich} \quad C = v\sqrt{1 + \frac{A}{a}}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Aus (1) und (4) folgt also das Moment der Kraft der Dampfmaschine

$$E = A\varphi v^3 \sqrt{1 + \frac{A}{a}}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Zum unmittelbaren Vorwärtsziehen des Schiffes, z. B. mittelst eines Seiles, würde die Kraft $A\varphi v^3$ nöthig sein; folglich muß die Kraft der Dampfmaschine, welche auf die Bewegung der Ruderräder wirkt, stets größer als diese Kraft sein,

da $\sqrt{1+\frac{A}{a}}$ immer größer als 1 ist. Sollte dieser Verlust möglichst klein werden, so müßte a möglichst groß werden und v sich dem Werthe von C möglichst nähern.

Aus (5) folgt die Geschwindigkeit des Schiffes

$$v = \sqrt[3]{\frac{E}{A\varphi\sqrt{1+\frac{A}{a}}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Ist C bekannt, so erhält man mit Berücksichtigung von (4)

$$v = \sqrt{\frac{E}{A\varphi C}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

oder aus (1)

$$v = \sqrt{\frac{a\varphi C^3 - E}{a\varphi C}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Für die Fahrt stromaufwärts erhält man:

$$A\varphi\,(c+v)^2 = a\varphi\,[C^2 - (c+v)^2],$$

folglich $\qquad C = (c+v)\sqrt{1+\frac{A}{a}}$;

also das Moment der Kraft für die Schaufelräder im Vergleiche mit jenem zur unmittelbaren Vorwärtsbewegung des Schiffes:

$$E = A\varphi\,(c+v)^3\sqrt{1+\frac{A}{a}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

oder wenn $c = \frac{v}{n}$ gesetzt wird

$$E = A\varphi v^3\left(1+\frac{1}{n}\right)^3\sqrt{1+\frac{A}{a}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Der Mehraufwand an Kraft bei dem Rudern stromaufwärts wird mithin um so bedeutender, je größer $c+v$ wird, und zwar im Verhältniß des Cubus dieser Zahl. Geht z. B. das Schiff mit der halben Geschwindigkeit des Stromes stromaufwärts, so ist $a = \frac{1}{2}$ und $\left(1+\frac{1}{n}\right)^3 = 27$, also der Kraftaufwand 27 Mal größer als im ruhigen Wasser bei gleicher Geschwindigkeit des Schiffes, nämlich so groß, als wenn das Schiff im ruhenden Wasser mit dreifacher Geschwindigkeit bewegt würde.

Für die Fahrt stromabwärts wird $C = (v-c)\sqrt{1+\frac{A}{a}}$, folglich das Kraftmoment der Ruder

$$E = A\varphi\,(v-c)^3\sqrt{1+\frac{A}{a}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

oder für $c = \frac{v}{1+n}$,

$$E = A\varphi v^3 \left(1 - \frac{1}{1+n}\right)^3 \sqrt{1+\frac{A}{a}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Für $n = \frac{1}{2}$, wo also die Geschwindigkeit des Schiffes um die Hälfte größer ist, als die des Stromes, ist mithin der Kraftaufwand nur $\frac{1}{27}$ von dem, welcher nöthig wäre, um das Schiff mit derselben Geschwindigkeit im ruhigen Wasser zu bewegen.

Setzt man in (10) $v = nc$ ein, so wird

$$E = A\varphi c^3 (1+n)^3 \sqrt{1+\frac{A}{a}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Wenn das Schiff stromaufwärts einen Weg s in der Zeit t zurücklegt, so wird, da $t = \frac{s}{v} = \frac{s}{nc}$ ist, der gesammte Kraftaufwand

$$Et = \omega = A\varphi s c^2 \sqrt{1+\frac{A}{a}} \, \frac{(1+n)^3}{n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Dieser Ausdruck hat ein Minimum für den Kraftaufwand bei einer gewissen Geschwindigkeit, d. h. geht das Schiff schneller, so wird der Kraftaufwand größer, und dies ist ebenfalls der Fall, wenn die Geschwindigkeit des Schiffes kleiner wird, als die für das Minimum sich herausstellende Zahl. Es liegt dies Minimum bei $n = \frac{1}{2}$, wo dann $\frac{(1+n)^3}{n} = 6^3/_4$ wird. Ist z. B. $n = 1$, so erhält man 8, und ist $n = \frac{1}{4}$, so $7^1/_{32}$. Der geringste Kraftaufwand zur Bewegung des Schiffes stromaufwärts findet also statt, wenn das Schiff mit der halben Geschwindigkeit des Stromes fortschreitet.

Bei Formel (5) ist bereits erwähnt, daß $\frac{A}{a}$ möglichst klein werden müsse, um den Kraftverlust möglichst zu verringern. A hängt von dem Baue des Schiffes ab und a von den Schaufeln. Da der ganze Widerstand des Schiffes ($= A\varphi v^2$) der Fläche A proportional ist, so ist um so mehr darauf zu sehen, daß der Bau des Schiffes rücksichtlich des Widerstandes möglichst vollkommen sei.

Kennt man bei einem Schiffe die Geschwindigkeit desselben, so wie die Geschwindigkeit und Dimension der Schaufeln, so kann man aus (4) A finden, nämlich

$$A = \frac{a\,(C^2 - v^2)}{v^2}$$

$$\text{und} \sqrt{1+\frac{A}{a}} = \frac{C}{v} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Die beste und gewöhnliche Form der Schaufeln ist länglichviereckig, weil hierdurch bei gleicher Fläche ein größerer Widerstand erzeugt wird. Die Tiefe der Schaufeln wird selten unter $^1/_6$ des Durchmessers des Rades genommen, gewöhnlich zu $^1/_8$. Denn die Schaufeln wirken beim Heraustreten aus dem

Wasser in schiefer Richtung auf dasselbe, erzeugen also einen Seitenwiderstand, der für die Bewegung des Schiffes verloren ist, und dessen Größe von dem Verhältnisse der Schaufeltiefe gegen den Radhalbmesser abhängt. Wenn r den Halbmesser und t die Tiefe der Schaufeln bezeichnet, so ergiebt sich, daß dieser Verlust um so kleiner ist, je kleiner der Werth von $\frac{t}{r}$ wird, d. h. je geringer die Tiefe der Schaufeln gegen den Halbmesser des Rades wird. Uebersteigt dieser Werth nicht bedeutend $^1/_4$, so ist der Verlust noch unbedeutend. Man hat ihn durch bewegliche Schaufeln, die aus dem Wasser vertical heraustreten, ganz zu beseitigen gesucht.

Wo keine Hindernisse vorliegen, kann man die Länge der Schaufeln bis nahe zur halben Breite des Schiffes vermehren. Auf Flüssen steht dann in der Regel die Breite des Fahrwassers entgegen, so wie auch die zu passirenden Brücken ein bestimmtes Maß vorschreiben.

Die Anzahl der Schaufeln, damit die beste Wirkung, d. h. eine gleichförmig ununterbrochene erzeugt wird, läßt sich theoretisch nicht genau bestimmen. Die Strecke, in welcher eine Schaufel der anderen folgen kann, bevor eine Verminderung der Wirkung eintritt, hängt sowohl von der Geschwindigkeit, als auch von der Größe der Schaufelfläche ab. Erfahrungsgemäß wirken Ruderräder mit zu viel Schaufeln, zumal bei größerer Geschwindigkeit, nachtheilig. Einige Techniker halten die Stellung für die beste, bei welcher, wenn eine Schaufel vertical sich im Wasser befindet, die beiden nächsten den Wasserspiegel berühren; andere sind der Ansicht, daß, wenn zwei Schaufeln mit ihrem Rande die Wasseroberfläche berühren, die beiden zwischen ihnen liegenden im Wasser stehen müßten.

Die Geschwindigkeit des Rades oder die Anzahl der Umdrehungen desselben in einer Minute wird durch die Anzahl der Kolbenspiele der Dampfmaschine in einer Minute bestimmt, indem bei der unmittelbaren Verbindung der Kolbenstange mit dem Krummzapfen der Axe der Ruderräder eine Umdrehung derselben durch ein Kolbenspiel erfolgt. Ist die Anzahl der Kolbenspiele = m, der Halbmesser des Rades bis zum Mittelpunkte der Schaufel = r, die Geschwindigkeit dieses Mittelpunktes = C, so ist

$$C = \frac{3,14 \,.\, 2r \,.\, m}{60} = 0,1047 \,.\, r \,.\, m. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

Setzt man diesen Werth in (4) ein, so erhält man den Durchmesser des Rades

$$r = \frac{v \,.\, \sqrt{1 + \frac{A}{a}}}{0,1047 \,.\, m}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Große Räder haben den Vortheil des besseren Ein- und Austrittes der Schaufeln, erzeugen wegen ihrer größeren Schwungkraft eine gleichförmigere Bewegung und vertragen auch eine größere Schaufeltiefe; mithin überhaupt eine größere Schaufelfläche. Zur See geben sie jedoch dem Wellenschlage gegen die Schaufeln ein größeres Moment und dem Winde von der Seite mehr Spielraum; es ist überdies nicht vortheilhaft, wenn die Axe dieser Räder zu hoch über dem Wasserspiegel des Schiffes liegt. Flußschiffe können verhältnißmäßig größere

Räder erhalten, als die Seedampfschiffe, da hier die bezeichneten Umstände weniger stattfinden.

Wir glauben hier mit den vorstehenden, die Raddampfer betreffenden Angaben der Tendenz unseres Werkes genügt zu haben, und müssen wegen des Ausführlicheren auf rein technische Werke verweisen. Schon Prechtl's technologische Encyklopädie, die wir zum Theil benutzt haben, enthält noch reiches Material in Bd. II.

b. Schraubendampfer.

Auch das vollkommenste Schaufelrad wirkt nicht ununterbrochen. Man hat dies mit der sogenannten archimedischen Schraube, mit welcher die Schiffsschraube jedoch eigentlich nicht verglichen werden kann, zu erreichen gesucht. Die Wirkungsweise der Schiffsschraube dürfte man sich auf leichte Weise klar machen, wenn man sich einen Pfropfenzieher, an welchem eine Last befestigt ist, in einer feststehenden Korkmasse gedreht denkt. Je nachdem man den Pfropfenzieher dreht, wird er in die Korkmasse weiter eindringen und die Last vorwärts bewegen, oder aus derselben herausgehen und die Last zurückschieben. Statt der Korkmasse haben wir im vorliegenden Falle das Wasser, statt des Schraubenziehers die Schiffsschraube und statt der Last das Schiff. Noch besser paßt vielleicht der Vergleich mit einer Holzschraube.

Die Idee, Schiffe durch Schrauben in Bewegung zu setzen, ist nicht neu. Bereits im Jahre 1727 machte Duquet *) einen Vorschlag, die Schraube als hydraulische Maschine zu benutzen, indem er eine Maschine angab, durch welche Schiffe stromaufwärts bewegt werden sollten.

Der 1768 vorgeschlagene Pterophor **) zur Fortbewegung der Schiffe anstatt des Ruderns ist nichts anderes als eine archimedische Schraube. Es wird vorgeschlagen, zwei solcher Apparate horizontal und parallel mit der Länge des Schiffes anzubringen und zwar einen an jeder Seite, oder einen einzelnen an dem Vordertheile; es wird ausgesprochen, man könne den Apparat ganz eintauchen, oder nur bis zur Axe; es wird daselbst angegeben, die Verhältnisse würden von denen des Schiffes und die Krümmung der Schraubengänge von der Geschwindigkeit, mit welcher gerudert werden solle, abhängen.

John Shorter machte 1802 die erste erfolgreiche Anwendung von der archimedischen Schraube in der britischen Marine zur Bewegung von Kriegsschiffen bei Windstillen.

Ohne von Shorter etwas zu wissen, beschäftigte sich bald darauf der Ingenieur David Napier mit demselben Gegenstande. Das gleiche Bestreben führte endlich beide zusammen und sie brachten die Schraube an in dem todten Holze, an den Seiten des Quarterdecks, an dem Bug, an den Schiffsseiten, kurz an jeder möglichen Stelle; auch die Form der Schraube wurde geändert, und ein einziger Schraubengang oder zwei, drei und vier, oder einzelne Arme wie Windmühlenflügel, oder auch nur ein einziger Arm an der

*) Machines et Inventions approuvées par l'Académie Royale des sciences depuis 1727 jusqu'au 1731.

**) The theory of the screw of Archimedes. Paris 1768 by M. Paucton.

Welle befestigt. Am zweckmäßigsten schien die Einrichtung mit einem einzigen von der Welle ausgehenden Schraubengange oder Arme zu sein.

Auf Befehl der französischen Regierung erschien 1824 ein Werk von Marestier *), in welchem mehrere Methoden, Schiffe zu bewegen, beschrieben werden, welche auf dem Principe der Schraube beruhen, ohne daß man jedoch daraus erkennen kann, ob diese Methoden wirklich zur Ausführung gekommen sind.

In der ersten Hälfte des Jahres 1825 setzte eine Gesellschaft in den Times einen Preis von 100 Guineen aus für den besten Entwurf zur Fortbewegung der Schiffe ohne Schaufelräder. Samuel Brown reichte ein Modell mit einer an dem Buge des Schiffes angebrachten Schraube ein, und die Gesellschaft erkannte ihm den Preis zu. Die Gesellschaft baute zu Rochester ein Schiff von 12 Pferdekraft mit diesem Mechanismus, welches befriedigende Proben ablegte. Brown baute auch selbst ein solches Schiff, welches bei den Probefahrten im Durchschnitt 6 bis 7 englische Meilen in der Stunde zurücklegte.

Im Jahre 1827 wurde in Amerika mit einer an dem Hintertheile des Schiffes in der Richtung des Kieles angebrachten und vollständig untergetauchten Schraube ein Versuch angestellt **). Zu gleicher Zeit brachte Scott aus Lumiston eine ganz im Wasser liegende Wasserschraube in Vorschlag, und Whytel stellte mit zwei in entgegengesetzter Richtung sich bewegenden Schrauben Versuche an ***).

Von 1827 bis 1836 geschah nichts Neues in dieser Sache; aber 1836 nahm J. P. Smith ein Patent auf Anwendung der Wasserschraube zur Bewegung der Dampfschiffe, indem er der Schraube ihre Stelle in dem todten Holze (in dem Raume des Schiffshintertheiles vor dem Hintersteven) anwies. Er machte 1837 mit einem kleinen Schiffe von 34 Fuß Länge und $6^1/_2$ Fuß Breite vielfache Probefahrten, und da diese günstig ausfielen, bildete sich eine Gesellschaft: The Ship Propeller Company. George und John Rennie unterzogen sich der Ausführung der Pläne der Gesellschaft und bauten den Archimedes von 80 Pferdekraft, 232 Tonnen Last, 125 Fuß äußerster Länge, 106 Fuß 8 Zoll Länge zwischen den Perpendikeln (d. h. Länge des Schiffes an der Stelle, bis zu welcher es völlig beladen höchstens eintaucht), 21 F. 10 Z. größter Breite, 13 F. Tiefe des Schiffsraumes, 10 F. Tiefgang hinten und 9 F. vorn.

Die bei diesem Schiffe angewendete Schraube bestand aus zwei Schraubenflächen, welche von ganz gleichen Verhältnissen waren, aber eine diametral gegeneinander stehende Lage hatten, so daß dieselbe von dem Ende her, in der Richtung der Are gesehen, wie ein vollkommener Kreis erschien. Der Durchmesser betrug 5 Fuß 9 Zoll; die Höhe der Schraubenfläche würde bei einem vollen Umgange 8 Fuß Höhe gehabt haben, da aber jede Fläche nur einen halben Umgang machte, so hatte die ganze Schraube nur eine Länge von 4 Fuß.

Die Schraube war von Schmiedeeisen aus einzelnen Blättern verfertigt, indem eine Anzahl gut gearbeiteter Eisenstäbe, welche in der Mitte aus einem Kranze a (s. umstehende Fig. I.) und aus zwei auf gleiche Weise zugespitzten

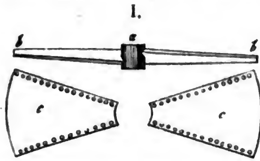
*) Mémoire sur les bateaux à vapeur des états-unis d'Amérique, avec un Appendice sur diverses machines relatives à la Marine etc. Paris de l'Imprimerie royale 1824.

**) History of the steam engine by Elijah Galloway. 2. edit. 1827.

***) Tredgold, Treatise on the steam engine. 1827.

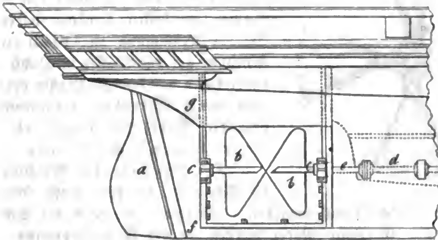
Armen b bestehen, in gleichen Entfernungen auf der Axe der Schraube befestigt wurden. Diese Stücke standen unter gleichen Winkeln gegen einander, so daß die Ränder der Kränze eine Schraubenlinie bildeten und die Arme derselben Schraubenausschnitte einschlossen. Eine Anzahl Blätter, ungefähr von der Form c c, welche bei der Temperatur des rothglühenden Eisens in die Form von Schraubenausschnitten gekrümmt waren, wurden an den Armen festgenietet und bedeckten beide Seiten der Arme so, daß sie eine ziemlich glatte und zusammenhängende Fläche bildeten. Vorn an der Peripherie der Schraube waren diese Blätter in eine dünne Schneide zugeschärft.

I.



Beistehende Fig. II. stellt das Hintertheil des Archimedes in dem richtigen Verhältnisse vor. a ist das Steuer; b b die Schraube. Die Axe c c der Schraube

II.



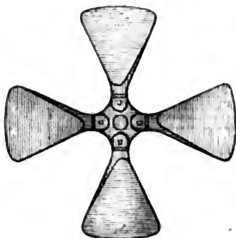
ist mit einer Welle d e, welche durch eine Stopfbüchse an der Hinterwand des Schiffes bei e geht, in Verbindung, und wird an dem hinteren Ende durch besondere Träger f g gehalten. Die Bewegung der Welle wurde durch zwei Dampfmaschinen, deren Cylinder 37 Zoll Durchmesser und 3 Fuß Kolbenhub hatten, erzeugt, indem die Bewegung durch Räder und Getriebe zu derselben übergetragen wurde, so daß die Schraube 133¼ Umdrehungen bei 25 Umdrehungen der Maschine machte.

Von den verschiedenen Mechanismen, welche bei den Schraubendampfern noch angebracht sind, ist namentlich der hervorzuheben, durch welchen die Schraube außer Thätigkeit gesetzt wird, sobald der Wind so günstig ist, daß man sich auf den Gebrauch von Segeln vortheilhaft beschränken kann. Die Triebwelle und die Axe der Schraube greifen in einander mit einem regulären sechskantigen Zapfen; die Welle aber kann in der Stopfbüchse verschoben und so aus der Schraubenaxe zurückgezogen werden. Ist auf diese Weise die Verbindung zwischen Schraube und Welle aufgehoben, so wird das Schiff nur durch die Segel getrieben; die Hindernisse aber, welche die Schraube in der Reibung des Wassers an der Schraubenfläche darbietet, sind unbedeutend, da dieselbe frei ist.

Ferner war an dem Archimedes eine Einrichtung, die auf irgend eine Weise beschädigte Schraube, selbst während der Fahrt, wenigstens bei ruhigem Wetter herauszunehmen und wieder durch eine Reserveschraube zu ersetzen.

Bei den mit dem Archimedes angestellten Versuchen ergab sich im ruhigen Wasser eine Geschwindigkeit von 9,64 engl. Meilen in der Stunde. Die günstigen Resultate erregten das Interesse der Admiralität und auf ihre Veranlassung wurden mit mehreren Dampfschiffen gleichzeitige Experimente angestellt. Die Dampfschiffgesellschaft zu Brighton und Shoreham ließ ein Dampfschiff: The Princess Royal, von 101 Tonnen und 46 Pferdekraft, mit Smith's Schraube ausrüsten. Die Versuche waren günstig.

Seitdem hat sich der Bau der Schraubendampfer immer mehr ausgedehnt. Während Smith die Holzschraube gewissermaßen zu Grunde gelegt hat, nahm Ericson 1838 den Fischschwanz zum Muster; noch mehr that dies Rennie. Die Versuche über die vortheilhafteste Form der Schraube werden zur Zeit noch fortgesetzt; namentlich kommt es bei den einzelnen Flügeln, welche, wie nebenstehende Figur zur Anschauung bringt, an einer Nabe angebracht werden und sich unter den verschiedenen Formen am besten bewährt haben, auf die Art der Krümmung an, damit einerseits die Schraube auf das Wasser möglichst stark drückt, andererseits das bewegte Wasser derselben möglichst wenig Widerstand entgegenstellt. Auch über die Anzahl der Flügel, ob 2, oder 3, oder 4, ist man noch nicht einig.



Die Bewegung der Maschine wird auf die Schraube, die eine große Geschwindigkeit erhalten muß, durch Zwischenmaschinen übergetragen, was bei Schaufelrädern nicht nöthig ist. Gezahnte Räder werden in der Regel gebraucht; das Band ohne Ende dürfte nur bei kleinen Maschinen verwendbar sein; auch Zwischenglieder, die sich auf Adhäsion gründen, hat man vorgeschlagen. In Amerika hat man es dahin gebracht, dem Kolben eine solche Geschwindigkeit zu ertheilen, daß die Schraube unmittelbar durch denselben getrieben wird.

Die Vorzüge der Schraube vor den Schaufelrädern machen sich immer mehr geltend. Zwar läßt ein Dampfschiff mit Schaufelrädern, wenn es normalmäßig eintaucht und der Schub bei beiden Rädern gleich ist, nichts zu wünschen übrig; aber die Tiefe des Eintauchens der Räder ist je nach der Belastung verschieden, namentlich ein Eintauchen über die normalmäßige Tiefe ungünstig. Dies bleibt bei der stets ganz unter Wasser liegenden Schraube ohne allen Einfluß. Eben so ist es bei dem Räderschiffe ungünstig, wenn der Wind von der Seite kommt und daher das Rad auf den beiden Seiten ungleich eintaucht. Das Räderschiff ist im Gebrauche der Segel beschränkt, das Schraubenschiff nicht, so daß man letzteres wie ein Segelschiff auftakeln kann. Hierzu kommt noch der Wegfall der Räderkasten bei dem Schraubenschiffe, was bei Flußschifffahrt, bei welcher Brücken zu passiren sind, wesentlich ist; ferner die mehr gesicherte Lage der Schraube, was bei Kriegsschiffen besonders Beachtung verdient und dergleichen mehr.

In Frankreich war der „Napoleon" in Havre das erste Schrauben-

dampfschiff; in Amerika fuhren 1842 bereits 13 Schraubendampfer, im Jahre 1846 waren daselbst jedoch deren 60.

Ueber die archimedische Schraube als Fortbewegungsmittel der Schiffe verweisen wir auf: Polytechnisches Central-Blatt 1841. S. 21; 1843. S. 337 (v. dem Bearbeiter dieses Artikels); 1844. S. 80; 1846. S. 113.

c. Reactionsdampfer.

Das System der Reaction ist bereits früher mehrmals versucht, aber erst seit 1852 durch A. Seydell *) mit Erfolg zur Ausführung gebracht. Seit 1856 fährt auf der Oder ein von Seydell nach diesem Principe gebautes kleines Schiff „Albert", welches recht Befriedigendes leistet.

Das bewegende Princip bei der Rakete oder bei dem Segner'schen Wasserrade müssen wir hier als bekannt voraussetzen und beschränken uns daher nur auf die folgenden Notizen.

An jeder der beiden Seiten des Schiffes mündet eine knieförmig gebogene Röhre, welche drehbar ist, so daß die Mündung nach vorn oder hinten, nach oben oder unten gestellt werden kann. Eine von der Schiffsdampfmaschine bewegte Centrifugalpumpe saugt durch den mit Löchern versehenen Boden des Schiffes Wasser und preßt dies durch die beiden Röhren aus. Stehen nun die beiden Röhren mit ihren Mündungen nach hinten, so treibt das ausströmende Wasser das Schiff durch Reaction nach vorn; stehen die beiden Mündungen nach vorn, so geht das Schiff rückwärts; steht eine Mündung nach vorn, die andere nach hinten, so dreht sich das Schiff; stehen die Mündungen nach oben oder unten, so steht das Schiff still.

Als Vorzüge des Reactionsdampfers, die allerdings die Erfahrung noch an Schiffen von größerem Maßstabe bestätigen muß, führt A. Seydell an:

1) größere Schnelligkeit des Schiffes bei derselben Kraft;
2) dem Schiffe kann ohne Hülfe des Steuerruders durch Stellung der Mundstücke der Röhren jede beliebige Bewegung ertheilt werden;
3) der Gang der Maschine ist nie abzuändern, mag das Schiff gehen oder still stehen;
4) der Capitain ist völlig Herr des Schiffes, da die Mundstücke von dem Deck aus gestellt werden;
5) der Wellenschlag gegen das Ufer der Flüsse ist im Vergleich zu der Wirkung der Schaufelräder vermindert;
6) durch den Wegfall der Räder und Radkasten ist das Schiff, eben so wie das Schraubenschiff, auf Flüssen nicht so sehr durch die zu passirenden Brücken und Schleusen in seiner Breite beschränkt;
7) ein Leck ist unschädlich, da man die eigentlichen Oeffnungen absperren und den Apparat mit dem Leckwasser speisen kann;
8) die Dampfmaschine wirkt mit der ganzen Summe ihrer Kraft;
9) benutzt man gleichzeitig Segel, so wächst die Geschwindigkeit wie die Cubik-

*) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen. Jahrgang 1852. S. 85.

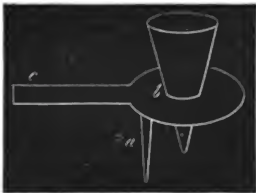
wurzel aus der Summe der Kräfte des Dampfes und des Windes, während die Schraube ganz unwirksam sein kann, wenn nämlich die Geschwindigkeit, welche sie allein dem Schiffe ertheilen würde, der des Windes gleich ist;

10) Reparaturen sind leicht auszuführen;

11) für Kriegsschiffe empfiehlt sich das System der Reaction besonders deshalb auch, weil ein solches ohne Steuer gelenkt werden könnte. H. C.

Schlämmen (Elutriatio) nennt man eine Operation, die vielfach angewendet wird, um namentlich mineralische Substanzen, auf welche das Wasser keine Einwirkung ausübt, in das feinste Pulver zu verwandeln. Zunächst werden die Substanzen auf gewöhnliche Weise gepulvert und dann, nachdem das Pulver mit Wasser zu einem Brei angerührt worden ist, lange Zeit auf einer Steinplatte mit dem sogenannten Läufer oder in der Reibmaschine gerieben, bis man einen zarten Schlamm, woher auch der Name der Operation stammt, erhalten hat. Dieser wird nun mit vielem Wasser verdünnt und stark aufgerührt. Man überläßt das Ganze eine kurze Zeit der Ruhe, damit sich die gröberen und schwereren Theile zu Boden setzen. Die trübe Flüssigkeit, in der die feineren Theilchen suspendirt sind, gießt man in ein besonderes Gefäß. Den Rückstand behandelt man zu wiederholten Malen auf gleiche Weise und bleibt zuletzt nur ein grobes Pulver zurück, so wird es abermals längere Zeit gerieben und dann wiederum geschlämmt. Aus dem trüben Wasser setzt sich mit der Zeit das feine Pulver ab, das, falls es noch nicht den gehörigen Grad der Feinheit erreicht hat, von Neuem gerieben oder geschlämmt wird. Durch trocknes Reiben allein kann nie eine so feine Vertheilung erreicht werden, wie durch das Schlämmen.

Sind die Massen, welche geschlämmt werden, nicht groß, so läßt man das trübe Wasser durch ein Papierfilter laufen und sammelt auf diesem das feine Pulver. Besser ist es aber, den Gebrauch eines Filters ganz zu vermeiden, denn sehr häufig kann man die Substanz, nachdem das Wasser durch Anwendung von Wärme entfernt worden ist, nicht von dem Filter herunterbringen, ohne sie durch Papierfasern zu verunreinigen. Läßt man das Pulver in Gefäßen absetzen, so vermeidet man zwar diesen Uebelstand, aber dann macht das Austrocknen oft große Schwierigkeiten. Um ein schnelleres Austrocknen zu erzielen, schlägt daher Mohr vor *), den noch nassen Brei zu trochisciren oder aufzusetzen. Zu diesem Zweck bringt man den Brei in einen spitzen Trichter, der eine kurze und enge Schnauze hat und in ein mit einem Auffsatzstifte a (s. nebenstehende Figur) versehenes Brettchen b fest eingesteckt ist. Man legt dann ganze Bogen von Filtrirpapier auf Bretter und setzt durch Aufstoßen auf den Stift a, indem man an der Handhabe c anfaßt, kleine kegelförmige Häufchen auf das Papier dicht neben einander. Die gefüllten Bogen läßt man hierauf in der Wärme austrocknen. Die Trochiscen lassen sich sehr gut von dem Papier ablösen und werden dann zerrieben.



Vogel zieht in gewissen Fällen beim Schlämmen die Anwendung des Alko-

*) Lehrbuch der pharmaceutischen Technik. 2. Aufl. S. 300.

hols der des Wassers vor *). Wegen des geringeren specifischen Gewichtes des ersteren erhält man in kürzerer Zeit ein fein geschlämmtes Pulver. Auf diese Weise stellte er in der kürzesten Zeit aus ganz gewöhnlichen Sorten ein Eisenroth her, welches sich zu den feinsten Polituren brauchbar erwies. Besonders für rein chemische Zwecke ist der Alkohol zu empfehlen, wenn es sich darum handelt, leicht oxydirbare Stoffe zu schlämmen. Beim Schlämmen der mineralischen Farbestoffe bietet der Alkohol den Vortheil, daß man die noch feuchte Masse direct mit Weingeist und Terpentinölfirnissen mischen kann. Man vermeidet hierbei das so lästige Austrocknen, das bei der Anwendung des Wassers nothwendig dem Vermischen mit Firniß vorausgehen muß. W. B.

Schmelzen nennt man eine chemische Operation, durch welche ein Körper aus dem festen Zustande in den flüssigen übergeführt wird. Dies geschieht einzig und allein mittelst der Wärme. Wie bekannt, dehnt die Wärme die Körper aus und entfernt die einzelnen Theilchen von einander. Dieser Vorgang findet auch beim Schmelzen statt; der feste Zusammenhang der einzelnen Theilchen wird endlich fast ganz aufgehoben und der feste Körper in einen flüssigen verwandelt. Die Wärmemenge, die hierbei verbraucht wird, ist sehr verschieden. Schmilzt ein Körper bei einer niederen Temperatur, so heißt er leichtflüssig; geht er erst bei einer hohen Temperatur in den flüssigen Zustand über, so nennt man ihn strengflüssig. Bei einigen Körpern ist bis jetzt das Schmelzen noch gar nicht gelungen, doch deswegen dürfen wir nicht annehmen, daß unschmelzbare Körper existiren. Es fehlt uns nur an Mitteln, um eine hinreichend hohe Temperatur hervorzubringen. Das Flüssigwerden eines festen Körpers erhält je nach dem dazu nöthigen Wärmegrade die Namen Aufthauen, Zerlassen oder Schmelzen.

Die Temperatur, bei der ein Körper schmilzt, heißt sein Schmelzpunkt. Bald liegt dieser unter dem Gefrierpunkt des Wassers, bald darüber. Für ein und denselben Körper ist diese Temperatur unter gleichen Bedingungen fest und unveränderlich. Aus nachstehender Zusammenstellung kann man die Verschiedenheit der Temperaturen, bei der verschiedene Körper schmelzen, erkennen.

Gehämmertes engl. Eisen	1600°	Wismuth	256°
Weiches franz. Eisen	1500°	Zinn	229°
Sehr strengflüssiger Stahl	1400°	Schwefel	115°
Leichtflüssiger Stahl	1300°	Jod	107°
Graues Gußeisen	1200°	Selen	102°
Leichtflüssiges Gußeisen	1050°	Natrium	90°
Gold	1250°	Kalium	58°
Silber	1000°	Phosphor	44°
Bronze	900°	Stearinsäure	69,2°
Antimon	432°	Weißes Wachs	68°
Zink	360°	Palmitinsäure	62°
Blei	334°	Gelbes Wachs	61°
Salpetersaures Kali	339°	Stearin	62°
Salpetersaures Natron	310°	Wallrath	49°
Cadmium	320°	Essigsäure	45°

*) Buchner's n. Rep. f. Pharm Bd. VI. Heft 3.

Butter	32°	Milch	— 1°
Seife	33°	Terpentinöl	— 10°
Eis	0°	Quecksilber	— 39°

Wöhler hat gezeigt *), daß der krystallisirte oder amorphe Zustand auf den Schmelzpunkt einen großen Einfluß ausübt.

	schmilzt	
	krystallisirt	amorph zwischen
Zucker	160°	90 — 100°
Amygdalin . . .	200°	125 — 130°
Sylvinsäure . . .	140°	90 — 110°
Lithofellinsäure . .	205°	105 — 110°

Während die meisten Körper plötzlich schmelzen, ohne vorher weich zu werden, giebt es einige, wie z. B. Wachs, Eisen, Platin ꝛc., die vorher weich werden. Das spröde Glas läßt sich in diesem Zustande biegen und formen wie Wachs und Eisen und Platin lassen sich zusammenschweißen. Salze, die viel Krystallwasser enthalten, wie z. B. schwefelsaures Natron, Alaun, phosphorsaures Natron, Chlorcalcium ꝛc., zergehen schon bei einer sehr niedrigen Temperatur (bei circa 25 bis 35°). Die Salze sind jetzt nicht als geschmolzen anzusehen, sondern nur als eine Auflösung in dem Krystallwasser; setzt man daher das Erwärmen fort, so verdampft das Wasser allmälig und das trockne Salz schmilzt nun erst bei einer viel höheren Temperatur. Viele organische Körper erleiden beim Erwärmen eine Zersetzung, bevor sie zum Schmelzen kommen. Dies gilt auch von manchen unorganischen Körpern. Hall hat jedoch gezeigt, daß mehrere dieser Körper gleichwohl geschmolzen werden können, wenn man sie während des Erhitzens unter einem so starken Druck hält, daß die flüchtigen Bestandtheile nicht entweichen können. Auf diese Weise gelang es ihm, Marmor und mehrere vulkanische Substanzen zu schmelzen. Diese Resultate sind in geologischer Beziehung von großer Wichtigkeit. Desgleichen hat Bunsen Versuche über den Einfluß des Druckes auf den Erstarrungspunkt geschmolzener Substanzen angestellt **), um daraus einen Schluß in Bezug auf die Bildung der plutonischen Gesteine zu ziehen.

Gewöhnlich nehmen die geschmolzenen Körper einen größeren Raum ein als die festen, aus denen sie entstanden. Doch macht das Wasser eine Ausnahme; es dehnt sich beim Uebergange in Eis, eigentlich schon einige Grade über dem Gefrierpunkt, aus. Auch beim Wismuth und Gußeisen beobachtet man ein Ausdehnen beim Festwerden. Ueber die Volumänderung einiger Substanzen beim Schmelzen hat Kopp eine ausführliche Arbeit mitgetheilt ***).

Mischungen verschiedener Metalle schmelzen, wie die nachstehende Zusammenstellung lehrt, viel leichter als die einzelnen Metalle selbst ****). Dieser Umstand ist für das praktische Leben von großer Wichtigkeit, da man diese Legirungen gebrauchen kann, um Metalle mit einander zu vereinigen (löthen) oder um Abdrücke

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLI. S. 156.

**) Monatsber. der Berl. Akad. November 1850. S. 465.

***) Ann. d. Chemie und Pharm. Bd. XCIII. S. 129.

****) Kopp, über die Modification der mittleren Eigenschaft u. s. w. Frankfurt a. M. 1841. S. 34.

von verschiedenen Dingen, die durch eine hohe Temperatur zerstört werden, zu nehmen. Auch bei organischen Substanzen, wie z. B. bei den fetten Säuren, hat man beobachtet, daß Mischungen derselben leichter schmelzen als die einzelnen Bestandtheile. — Man bedient sich daher in manchen Fällen solcher Mischungen (Zuschläge, Flüsse), um gewisse Körper leichter zum Schmelzen zu bringen.

Schmelzpunkte verschiedener Legirungen:

5	Theile Zinn und 1 Theil Blei	194°
3	= = = 1 = = ...	183°
2	= = = 1 = Cadmium . . .	174°
9	= = = 2 = Blei u. 1 Th. Zink	168°
1	= Wismuth und 1 Th. Cadmium . .	146°
2	= Zinn, 1 Th. Blei u. 1 Th. Wismuth	145°
3	= = und 2 Th. Wismuth . . .	136°
4	= = = 3 = = . . .	135°
4	= Wismuth und 3 Th. Blei . . .	125°
3	= = = 2 = = . . .	122°
8	= = = 5 = = u. 3 Th. Zinn	100°
3	= = = 2 = = u. 2 = =	96°
4	= = = 1 = = u. 1 = =	94°.

Beim Schmelzen der festen Körper beobachtet man außer dem festen Schmelzpunkt, also der unveränderlichen Temperatur, bei der allein die Schmelzung beginnt, noch den merkwürdigen Umstand, daß sich die Temperatur während des Schmelzens nicht ändert, wie viel Wärme auch in den Körper eindringen möge. Erst wenn die Schmelzung vollständig erfolgt ist, beobachtet man eine Steigerung der Temperatur. Es wird also beim Schmelzen Wärme gebunden, d. h. sie geht für das Gefühl oder das Thermometer verloren. Diese wichtige Entdeckung machte zuerst Black 1763. Hierüber wird unter dem Artikel Wärme weiter die Rede sein. Man vergleiche auch den Art. Kältemischungen, Bd. IV. S. 174. Hieraus folgt, daß ein jeder schmelzende Körper seiner Umgebung Wärme entzieht. Diese Wahrnehmung drängt sich im gewöhnlichen Leben häufig auf. So bleibt z. B. die Luft im Frühjahre kühl, bis das Eis und der Schnee vollständig geschmolzen ist, da hierzu bedeutende Mengen von Wärme verbraucht werden. Treten ferner viele Personen, an deren Stiefeln Schnee haftet, in ein warmes Zimmer, so verspürt man in diesem sehr bald eine Abkühlung der Temperatur.

Bei den organischen Verbindungen steht der Schmelzpunkt nicht so unveränderlich fest, wie bei den unorganischen Substanzen. Einmal hält es sehr schwer, die ersteren chemisch rein zu erhalten, und dann sind sie auch sehr leicht veränderlich. Während gemeinhin für das Stearin der Schmelzpunkt zu 62° angegeben wird, hat Duffy solches aus Hammeltalg durch geeignete Reinigungen bis zu einem Schmelzpunkt von 96° gebracht und diesen wieder durch Hülfe von Wärme auf niedere Grade (52, 65 und 69°) *). Dasselbe gilt auch von anderen Fetten und einigermaßen auch von den unorganischen Körpern. So hat man z. B. leicht schmelzende Legirungen zu Sicherheitsventilen bei Dampfkesseln benutzt; mit der

*) Compt. rend. T. XXXV. p. 284.

Zeit aber änderten sich die Legirungen unter dem fortdauernden Einfluß der Wärme und nahmen einen viel höheren Schmelzpunkt an.

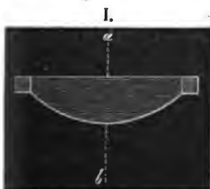
Bei chemischen Untersuchungen organischer Substanzen, die in der Regel nicht in großen Massen zu Gebote stehen, bestimmt man den Schmelzpunkt auf folgende Weise. Man macht die Substanz im Wasserbade flüssig und saugt schnell etwas davon in ein sehr feines und dünnwandiges Capillarrohr ein. Dieses Röhrchen hängt man nun an einem Thermometer so auf, daß es die Kugel unmittelbar berührt, und taucht diese nun in ein mit Wasser gefülltes Becherglas. Man erhitzt nun das Wasser sehr langsam und beobachtet den Moment, wo die im Röhrchen enthaltene Substanz gerade an der Stelle vollkommen durchsichtig, d. h. flüssig wird, wo es die Thermometerkugel berührt. In diesem Moment liest man die Temperatur des Thermometers ab.

Das Schmelzen gehört bestimmt zu den ältesten chemischen Operationen. Man bedient sich ihrer häufig, um Mischungen oder Scheidungen zu bewerkstelligen; letzteres namentlich bei der Darstellung der Metalle. Durch bestimmte Zusätze werden die fremdartigen Beimengungen von den Metallen getrennt. Das schwerere Metall setzt sich zu Boden und heißt der König (Regulus), während die leichteren Beimengungen als Schlacken (Scoriae) oben aufschwimmen. Auch in der chemischen Analyse wird das Schmelzen häufig angewendet, um gewisse Mineralien den Auflösungsmitteln zugänglich zu machen (das Aufschließen). Werden die Substanzen beim Schmelzen durch die Einwirkung der Luft verändert, so umgiebt man sie mit einer indifferenten Atmosphäre oder schmilzt sie unter einer Decke von gewissen Substanzen. Die Geräthschaften, in denen man das Schmelzen vernimmt, sind sehr verschiedener Art, je nach der Natur der Stoffe oder der nöthigen Wärme. Bei geringeren Wärmegraden bedient man sich der gewöhnlichen Pfannen und Kessel aus Metall oder Porzellan, sobald aber Glühhitze erforderlich ist, wendet man Schmelztiegel an, die bereits Geber kannte. Es sind dies hohle, aber offene, dreiseitige oder runde, nach unten conisch zulaufende Gefäße, deren Boden außen eben und flach ist, damit sie feststehen. Das Material, aus dem diese Tiegel angefertigt werden, ist sehr verschieden. Bei Operationen im Großen werden häufig die hessischen irdenen Tiegel benutzt, die seit alter Zeit zu Groß-Almerode in der Nähe von Cassel angefertigt werden. Schon Glauber rühmt diese Tiegel als die besten; sie sind sehr dauerhaft und billig und deshalb sind sie über die ganze Welt verbreitet. Jährlich werden ungefähr für 20,000 Thaler verfertigt. Der Thon, der in der Nähe der Stadt vorkommt, wird durch einen Zusatz von Sand fast unschmelzbar. Die Tiegel müssen jedoch langsam angewärmt werden und langsam erkalten, denn sonst reißen sie. Die besten Tiegel sind die, welche gleichmäßig gebrannt sind, beim Anschlagen einen hellen Klang von sich geben und keine schwarzen Flecke haben. Bei alledem passen sie aber doch nicht für alle Zwecke. Namentlich werden sie durch Substanzen, welche die Schmelzung sehr befördern, wie z. B. Kali, Natron, Bleioxyd, Chlorsilber ꝛc. stark angegriffen und sehr bald durchlöchert. In vielen Fällen sind sie jedoch den Ypher oder Passauer Tiegeln, die aus Thon und Graphit verfertigt werden, vorzuziehen. Häufig gebraucht werden namentlich bei kleineren chemischen Arbeiten auch Tiegel von Porzellan, Silber, Gold und Platin. In anderen Fällen sind wieder eiserne Tiegel unentbehrlich, in anderen wendet man auch Tiegel von Koks oder hydraulischem Kalk an.

Hat man nur kleine Mengen zu schmelzen, wie dies häufig bei chemischen

Analysen vorkommt, so bedient man sich einfach der Spirituslampe mit doppeltem Luftzug, der sogenannten Berzelius'schen Lampe. Diese bringt eine solche Hitze hervor, daß ein etwa 2 Loth Wasser fassender Platintiegel weißglühend wird. Silber schmilzt in der Flamme dieser Lampe leicht. Für viele Fälle reicht auch eine Gasflamme aus, die durch ein Gebläse angefacht wird, oder der gewöhnliche tragbare Windofen, der mit Holzkohlen gefeuert wird. Der von Hark angegebene neue Gas-Schmelzofen *) hat wohl wenig oder gar keine Vorzüge vor dem gewöhnlichen Gebläsetisch, wenn dieser mit Gas gespeist wird. Bedarf es aber für größere Mengen sehr hoher Temperaturen, so muß man eigene Oefen construiren; entweder Schmelzöfen mit langen Rauchröhren oder Gebläseöfen. Die ersteren sind die ältesten und auch jetzt noch vielfach im Gebrauch. Sie werden aus möglichst feuerfesten Steinen entweder viereckig oder rund aufgebaut; doch ist die erstere Form vorzuziehen. Dieser Ofen ist mit einem Rost versehen, der möglichst tief an den Boden zu liegen kommt. Die Roststäbe, die einzeln gegossen werden, haben am zweckmäßigsten beistehende Form (s. Fig. I. (von der Seite), Fig. II. (von oben) und Fig. III. (Durchschnitt in der Mitte nach der Linie a b in Fig. I.), die sogenannte Fischbauchform. Sie werden mit ihren quadratischen Enden, die auf jeder Seite den Roststab um die Hälfte seiner Breite überragen, um dadurch einen richtigen Abstand der Roststäbe zu erzielen, auf starke Eisenstäbe dicht neben einander gelegt. Ist einer dieser Stäbe beweglich, so kann man nach beendeter Arbeit den Rost sammt dem Feuer in eine Grube stürzen und dann das Feuer löschen, um es nicht unnütz brennen zu lassen. Die obere Fläche der Roststäbe ist mit einer Rinne versehen, in der sich die Asche sammelt und so die Stäbe vor übergroßer Erhitzung schützt.

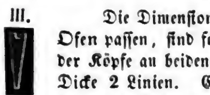
I.



II.



III.

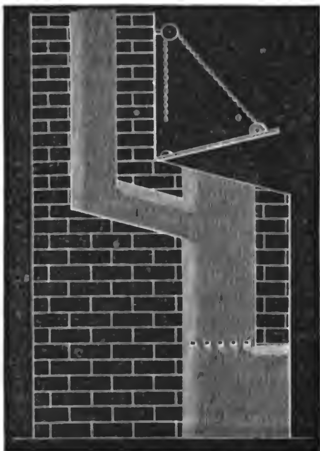


Die Dimensionen der einzelnen Roststäbe, wie sie für einen größeren Ofen passen, sind folgende: Länge 1 Fuß, Dicke in der Mitte 7 Linien, der Köpfe an beiden Seiten 11 Linien, Höhe des Bauches 3 Zoll, untere Dicke 2 Linien. Ein solcher Stab wiegt ungefähr 3 Pfd. Die Länge kann man leicht vergrößern und die Breite des Rostes beliebig ausdehnen, indem man mehr Stäbe an einander legt. Allerdings sind diese Roststäbe theurer als die sonst gebräuchlichen; dafür aber sind sie selbst im stärksten Feuer unzerstörbar und das Feuer brennt darauf mit einer besonderen Lebhaftigkeit, indem so zu sagen dieser Rost die Dienste eines heißen Gebläses verrichtet. Weil das Metall die Wärme gut leitet, so verbreitet sich die Hitze sehr schnell durch denselben, und da die Oberfläche des Stabes unten stets mit neuer kalter Luft in Berührung kommt, so wird einerseits der Roststab abgekühlt, andererseits aber die Luft, die ins Feuer strömt, erwärmt. Außerdem besitzt dieser Rost noch den Vortheil, daß er eine vollständige Verzehrung des Brennmaterials erlaubt, da dieses nicht in größeren Stücken durch die engen Schlitzen hindurchfallen kann.

Die obere Oeffnung des Ofens ist schief abgeplattet und mit einem guß-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXV. S. 252.

eisernen Deckel belegt, der unten mit Charmottemasse gefüttert ist und in der Mitte eine Oeffnung hat, um den Gang der Operation beobachten zu können. Der Deckel wird, wie beistehende Figur, die den ganzen Ofen darstellt, versinnlicht, an einer über eine Rolle gehenden Kette gehoben, um sowohl den Tiegel bequem ein- und aussetzen zu können, als auch das Brennmaterial nachzuwerfen. Es ist aber anzurathen, die vordere Wand nicht so hoch aufzuführen, wie es die Zeichnung angiebt. Man kann gut drei Steine fehlen lassen, so daß die Wand nur eben die Höhe hat wie die untere Fläche des in die Esse führenden Zuges.



Der Zug geht durch einen Fuchs eine Verengung, in den Kamin, wodurch man bewirkt, daß die brennbaren Gase sich innig mit der Luft mischen und vollständig verbrennen. Dadurch wird der Schornstein stärker erwärmt und der Zug vermehrt. Um aber in Folge dessen nicht zu viel Brennmaterial nutzlos zu verbrauchen, bringt man in dem Kamin einen horizontalen Schieber an. Bei alledem aber sind diese Oefen große Verschwender an Brennmaterial, zumal wenn sie nicht beständig gebraucht werden, denn die Hitze, die unbenutzt durch die Esse entweicht, um hier den Zug hervorzubringen, ist viel bedeutender, als die, welche dem Tiegel zu Gute kommt. Daher sind die Gebläseöfen vorzuziehen. Die einfachsten dieser Art stellt man aus einem Graphittiegel her, indem man dicht über dem Boden ein rundes Loch einschneidet, in welches die Düse des Blasebalges oder Ventilators gut paßt. Darüber legt man einen Rost, und auf diesen stellt man einen nicht zu niedrigen Tiegelfuß, damit der Tiegel selbst ganz von der Gluth umgeben ist. Bestreut man den Tiegelfuß mit Holzkohlenpulver, so verhindert man das Zusammenschmelzen des Tiegels mit dem Fuße. Auch den gewöhnlichen Lohm'schen Windofen kann man auf ähnliche Art sehr wirksam machen; man bringt in dem Aschenfall eine Oeffnung für die windspendende Düse an und schließt die Aschenthüre.

Sehr wirksam sind die sogenannten Seffström'schen Oefen, die in jeder Größe ausgeführt werden können. Man fertigt einen Cylinder aus dickem Stürzblech, legt diesen oben etwas um und nietet darauf einen Ring von Schmiedeeisen fest an. Der letztere dient zur Aufnahme eines conischen, mit einer 2 Zoll dicken Lage von Charmotte ausgekleideten Cylinders, der durch Handhaben leicht regiert werden kann. Sobald der Cylinder die Oeffnung des Ringes nicht ganz genau verschließt, so hilft man mit Thon nach. Rund um den Tiegel, der in diesem Cylinder steht, bringt man in einer Höhe von 1/2 Fuß über dem Boden acht Löcher

an und in diese befestigt man kleine eiserne Röhren von $1/2$ Zoll innerer Breite und eben solcher Wandstärke, die aber nicht über den Beschlag hervorragen. Durch einen Ansatz am äußeren Cylinder führt man die Düse ein. Da für die Luft kein Ausweg vorhanden ist, so preßt sie sich in dem Zwischenraum der beiden Cylinder zusammen und dringt durch die Oeffnungen in den inneren Feuerraum. Man hat hier eine Art von heißem Gebläse, da sich die Luft während ihres Verweilens in dem Zwischenraum und während ihres Einströmens durch die eisernen Röhren erwärmt. Da diese gerade auf den in der Mitte stehenden Tiegel blasen, so theilen sie ihm die größte Hitze mit, die überhaupt im Ofen herrscht. Diese ist so stark, daß selbst hessische Tiegel zu einer Art Schmelzung gebracht werden können. — Bringt man in dem inneren Cylinder einen Rost an, so kann man den äußeren Cylinder entbehren, wodurch der Ofen einfacher wird.

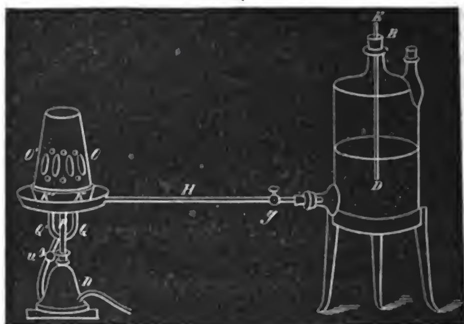
Zu Schmelzungen in ganz großem Maßstabe bedient man sich eigener Oefen, die je nach dem Zwecke verschieden eingerichtet sind. Sehr gebräuchlich ist der sogenannte Flammofen. Die Substanzen werden hier auf einem flachen Herde ausgebreitet und durch die darüber hinstreichende Flamme zum Schmelzen gebracht. Dieser Ofen ist auch sehr zweckmäßig für Schmelzungen in Tiegeln einzurichten, wenn diese häufig wiederkehren. Er ist ganz mit feuerfesten Steinen (Charmottesteinen) zu erbauen und diese durch feuerfesten Thon mit einander zu verbinden. Da die Tiegel hier nicht mit dem Brennmaterial selbst in Berührung kommen, sondern nur mit der Flamme, so muß man solche Brennstoffe anwenden, die eine lange und heiße Flamme geben; also trocknes Holz, Torf, Braunkohlen oder stark backende Steinkohlen. Durch einen Spalt gelangt die Stichflamme des brennenden Materials zu dem Tiegel, umspült diesen und geht dann durch einen Schlitz zu dem nächsten Tiegel. Durch einige Oeffnungen, die beliebig zu verschließen sind, gelangt Luft von außen in die Flamme, während sie durch jenen Spalt hindurch geht. Man muß aber den Zutritt der Luft genau reguliren, damit die Flamme ohne Ruß verbrennt und die höchste Hitze liefert. Läßt man zu viel Luft zuströmen, so wird die Hitze abgekühlt. Bei diesen Oefen hat der Arbeiter sehr wenig von der Hitze zu leiden. Natürlich kann man dem Ofen eine größere Anzahl von Tiegelräumen geben; reicht die Hitze in den entfernteren nicht mehr zum Schmelzen hin, so werden die Tiegel wenigstens vorgewärmt und rücken dann je nach dem Gange der Arbeit immer weiter vor, während die leeren Räume wieder von Neuem beschickt werden. Hierdurch erzielt man eine bedeutende Ersparniß an Brennmaterial.

Mehr als diese großen Oefen leisten in gewissen Fällen kleinere Vorrichtungen; so z. B. das Knallgasgebläse (Bd. III. S. 501). In neuerer Zeit hat Deville für chemische Laboratorien Lampen und Oefen construirt, die eine sehr hohe Temperatur erzeugen *). Die Lampe, die in umstehender Figur in $1/3$ der wirklichen Größe abgebildet ist, besteht aus drei Hauptstücken: einer Flasche mit constantem Niveau D, welche durch eine Röhre H mit K K′, dem Behälter des Terpentinöls, dessen Dampf verbrannt wird, in Verbindung steht. Die Lampe ist wieder durch die Röhren Q und Q′ mit einem Luftvertheilungs-Apparat Z verbunden, der zugleich das Löthrohr P speist.

---

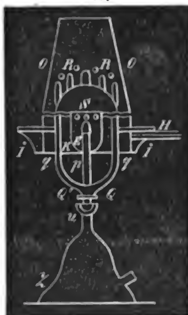
*) Ann. de Chim. et de Phys. Févr. 1856. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXL. S. 428.

I.



Der ringförmige Raum K K′ ist allenthalben, oben und an den Seiten durch eine dicke Platte von getriebenem Kupfer verschlossen, welcher man die Biegungen und überhaupt die Gestalt giebt, wie sie beistehende Figur anzeigt. Unten bewirkt den Verschluß ein Kupferblech I I, das am Rande der Art aufgebogen ist, daß es um die Lampe herum ein Schälchen bildet, in welches man Wasser gießt. Dieses Blech ist mit drei Löchern versehen, durch welche bei q die zwei Röhren Q und Q′ gehen und bei p das Löthrohr P. Die Röhre H geht zuerst durch die äußere Schale I und tritt dann in das Innere der Lampe. An der inneren Wand, welche in Form einer verlängerten Schale gebogen ist, befinden sich bei S 8 Löcher von 3 bis 4^{mm} Durchmesser. Ueber der Lampe befindet sich eine freie Kuppel R von Kupfer, welche in einer, im oberen Theile der Lampe angebrachten Nuth steckt und oben offen ist, um die Flamme und den Löthrohrstrahl hindurch zu lassen. Diese Oeffnung hat einen Durchmesser von 23^{mm}. Ueber das Ganze stülpt man ein conisches 75^{mm} hohes Zugrohr O O, das mit breiten Oeffnungen versehen wird, damit recht viel Luft einströmen kann. Auf dasselbe setzt man den Tiegel.

II.



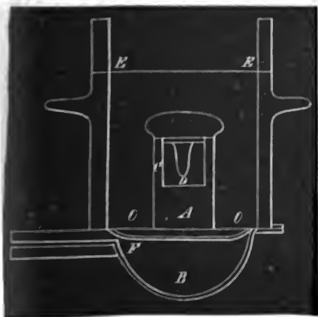
Das obere Ende des Löthrohres P ist mit einem beweglichen Kopf versehen, der aufgeschraubt wird und eine $2^1/_4$^{mm} weite Oeffnung hat. Diese befindet sich wenigstens 5^{mm} unter den Löchern bei S. Die Röhren Q Q′, welche die Luft über der Oberfläche des Terpentinöls in die Lampe führen, vereinigen sich zu einer einzigen Röhre, welche mit einem Hahn u versehen ist und in ein Reservoir I mündet. Letzteres steht mit einem Gebläse in Verbindung, welches Luft mit einem Druck von 7 bis 8^{cm} Quecksilber eintreibt.

Will man die Lampe in Thätigkeit setzen, so hat man zuerst das Niveau der Röhre E D zu reguliren; das untere Ende D muß sich genau 5^{mm} unter

den Oeffnungen bei S befinden. Sonst könnte das Terpentinöl austreten oder in dem ringförmigen Raum K K, sich entzünden. Man öffnet den Hahn G und schließt ihn, sobald sich das Niveau in der Flasche und der Lampe hergestellt hat. Nun gießt man Wasser in die Schale II und läßt es einige Zeit sieden, indem man den Boden der Schale mit einer kleinen Weingeistlampe erhitzt, um das Terpentinöl in Dampf zu verwandeln. Dann giebt man durch Gebläse den Wind und öffnet allmälig den Hahn u; zu gleicher Zeit nähert man die Weingeistflamme den Oeffnungen in O und entzündet den Terpentinöldampf, der ohne zu flackern verbrennt. Einige Augenblicke nachher öffnet man den Hahn G. Nun hat man alle Aufmerksamkeit auf die Zuführung des Windes zu lenken, um die höchstmögliche Temperatur zu erreichen. Die Lampe bleibt in Thätigkeit, weil die von ihr entwickelte Wärme zur Erhitzung des Terpentinöls, also zur Lieferung von neuem Dampf ausreicht. Die aus dem Gebläse kommende Luft bedeckt die Oberfläche des Terpentinöls, führt eine große Menge Dampf mit fort, entweicht ohne zu brennen durch die Oeffnungen bei S und entzündet sich nur in Berührung mit der aus dem oberen Ende des Löthrohres ausströmenden Luft. Die Schale I muß nun stets mit Wasser gefüllt bleiben, um eine zu große Temperatur-Erhöhung zu verhindern. Es ist daher nach Maßgabe seiner Verdunstung stets wieder zu ersetzen. Will man die Lampe auslöschen, so hat man nur beide Hähne u und G zu verschließen.

Mit dieser Lampe, die Deville Lampe-forge nennt, kann man Feldspath und Albit, selbst Smaragd und einen Platindraht von $^1/_2$ mm Durchmesser schmelzen.

Während sich bei den gewöhnlichen Oefen die Hitze auf eine große Höhe im Verhältniß zur Breite des Feuerraums vertheilt, ist Deville's Ofen so vorgerichtet, daß er auf eine große Breite und auf eine sehr geringe Höhe erhitzt wird. Ein guter Blasebalg wird mittelst seiner Düse mit einem halbkugelförmigen Raum B (s. beistehende Figur in $^1/_8$ der wirklichen Größe) verbunden; auf letzterem liegt ein gußeiserner Reif, in welchem sich ringsum Oeffnungen O O O von 10 mm Durchmesser befinden. E ist ein Cylinder von 18 cm Durchmesser aus gebrannter Erde, der mit einer Kuppel bedeckt werden kann. In diesen stellt man den Tiegel, umgiebt ihn mit brennenden Holzkohlen, dann auf 5 bis 6 cm Höhe mit nußgroßen Koksstücken und schüttet obendrauf Kohlenklein, d. h. durch die Ofenroste gefallene Steinkohlen, die von Asche und Schlacken befreit und in erbsen- bis haselnußgroße Stücke zerkleinert worden sind. Das Feuer wird durch den Blasebalg fortdauernd angefacht. Ist die gehörige Temperatur erreicht, so erscheint das Innere des Raumes, in dem sie herrscht, deutlich blau gefärbt. Deshalb nennt Deville diese Temperatur Blaugluth (chaleur bleue). Die höchste Temperatur beginnt 2 bis 3 cm oberhalb der Platte F und erstreckt sich auf eine Höhe von nur 7 bis 8 cm. Oberhalb dieser Zone nimmt der Grad der Hitze äußerst



rasch ab, in Folge der Verwandlung der Kohlensäure in Kohlenoxydgas. Dieses Gas verbrennt an der Luft mit blauer Flamme, welche eine Höhe von 2 Metern erreicht.

Bei der Blaugluth werden die besten irdenen Schmelztiegel flüssig wie Glas; das Porzellan wird zu einem vollkommen geschmolzenen Email. Daher bedient sich Deville der Tiegel (A) von schwach hydraulischem Kalk. Man schneidet die Kalkstücke in Gestalt eines quadratischen Prisma von 8 bis 10^{cm} Breite und 12 bis 15^{cm} Höhe. Mittelst eines Bohrers macht man ein Loch C von erforderlicher Größe hinein. Ist keine so starke Hitze erforderlich, so setzt man in diesen noch einen zweiten Tiegel 0, der auf der Drehbank oder aus freier Hand aus einem Stück Kalk angefertigt worden ist. Das Schneiden geht so leicht, daß diese Tiegel weniger kosten als die irdenen. Die Deckel der Tiegel sind ebenfalls aus Kalk geschnitten. Soll der Tiegel nicht springen, so muß er anfangs sehr behutsam bis zur Rothgluth erhitzt werden. Für gewisse Versuche ist das beste Material für die Tiegel Gaskoks, die auf der Drehbank bearbeitet werden. Beim Erhitzen dient ein Kalktiegel als Hülle. Doch giebt es nur sehr wenig Fälle, in denen die Kokstiegel zur Anwendung kommen, weil es nur sehr wenige Körper giebt, deren Zusammensetzung durch die Kohle nicht verändert wird. Zum Schmelzen des Silicium kann man sie brauchen. Die Kalktiegel können nur dann angewendet werden, wenn eine alkalische Substanz den zu erhitzenden Körpern nicht schädlich ist. In Fällen, wo die Kalktiegel nicht zulässig sind, macht man die Tiegel aus reiner Thonerde, indem man Thonerde, die bei Weißgluth gebrannt worden ist, mit plastischer oder schwach gebrannter vermengt. Von letzterer nimmt man jedoch nur so viel, als nöthig ist, um die Masse bearbeiten zu können. Einmal gebrannt, halten sie alle Proben aus. Sie widerstehen der Hitze, dem raschen Erkalten, allen Metallen, selbst dem Natrium.

Die Leistungen dieses Ofens sind außerordentlich. Platin schmilzt in einem Kalktiegel von 12^{cm} Höhe und 8 bis 9^{cm} Breite mit einem Loch von 1 bis 2^{cm} Durchmesser und 5 bis 6^{cm} Tiefe zu einem einzigen Knopf; ja man kann sogar das Platin verflüchtigen. Die Pariser Ausstellung brachte als Kraftproben dieser Oefen gegossene Platintiegel von den Platinfabrikanten Desmontis und Chapuis. Die äußerste Grenze, bis zu der die Temperatur dieses Ofens reicht, ist das Schmelzen der Kieselerde (von 30 Grm. gereinigtem Quarzsand).

Aehnliche Resultate hatte man bis dahin nur durch die Anwendung des elektrischen Stromes einer gewaltigen galvanischen Batterie erzielt. Despretz z. B. arbeitete mit 600 Bunsen'schen Elementen *) und brachte sogar Kohle zum Schmelzen. Durch diese Versuche wurde die Hoffnung, durch Schmelzen der Kohle Diamanten erzeugen zu können, gänzlich zerstört, denn die geschmolzene reine Kohle verhielt sich nicht anders als amorpher Graphit. 200 Grm. Platinabfälle wurden in einigen Minuten zusammengeschmolzen, so daß Despretz sogar auf die Anwendung der Volta'schen Säule zum Schmelzen des Platin im Großen und zur Verbesserung der Bearbeitung dieses Metalles aufmerksam macht. W. B.

Schmiedeeisen, s. Eisen.

Schnee ist der bekannte atmosphärische Niederschlag, welcher bei niederer Temperatur durch das Gefrieren (Erstarren) des in Wasserdunst verwandelten

*) Compt. rend. T. XXIX. p. 545.

Wasserdampfes entsteht, womit aber nicht ein Gefrieren schon gebildeter Wassertropfen, sondern eine Zusammenhäufung ursprünglich krystallinischer Eisnadeln, als welche der gefrorne Wasserdunst auftritt, gemeint ist. Es erscheint keineswegs nothwendig, daß der in der Atmosphäre vorhandene gasförmige Wasserdampf durch den tropfbarflüssigen Zustand, etwa in der Form sehr feiner Wassertröpfchen, in den starren Aggregatzustand übergehe, sondern es können sehr wohl die einzelnen kleinsten Massentheilchen des Wasserdampfes, wenn eine hinreichende Temperaturerniedrigung rasch genug eintritt, unmittelbar in der Form des Starren krystallinisch zusammentreten. Wenn es mitunter schneit, während das Thermometer + 4° bis 5° zeigt, so sind doch die Luftschichten, in denen sich der Schnee unmittelbar bildet, kälter, und der herabfallende Schnee hat nur in dem kurzen Zwischenraume während seines Fallens nicht Zeit, sich in Regen zu verwandeln. So ist es auch, namentlich in Berggegenden, nichts Seltenes, daß es in den oberen Regionen schneiet, während es in den unteren Gegenden, wo die Luft beträchtlich wärmer ist, regnet. Die Erscheinung, daß bei hellem, trocknem Wetter, während das Thermometer + 4° bis 5° zeigt, der an der Erde liegende Schnee dennoch nicht schmilzt, obschon bei feuchtem Wetter oft eine Temperatur von + 0,5° zum Thauen hinreicht, hat ihre Ursache in der bedeutenden Verdunstung des Schnees, wobei viel Wärme latent wird, während der Schnee in dem Falle, wo die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt ist, theils nicht verdunsten kann, theils die Feuchtigkeit aus der Luft leichter aufnimmt, und so, indem er derselben Wärme entzieht, zum Schmelzen kommt.

Beobachtungen haben gelehrt, daß der meiste Schnee unter mittleren Breiten, bei mäßiger Erhebung über die Meeresfläche, aus Wolken bei trübem Himmel fällt, gewöhnlich, wenn es nach strengerer Kälte etwas gelinder geworden ist, woher denn auch das Vorurtheil entstand, daß es bei strenger Kälte überhaupt nicht schneien könne; doch kann im Allgemeinen nur behauptet werden, daß die kältesten Luftschichten auch die an Wasserdampf ärmsten sind. L. v. Buch hält für Berlin eine Temperatur von 4° bis 5° unter Null für die mittlere, bei welcher dauernder Schnee fällt, und glaubt, daß es bei — 13° kaum noch schneien könne. Dagegen beobachtete Kämtz*) in Halle am 15. Januar 1828 bei — 14°,18, am 20. Januar 1829 bei — 16°, am 4. Februar 1830 bei — 17°,8 und am 30. Januar 1830 bei — 18°,1 Schneefälle. Zwar giebt Scoresby als niedrigste Temperatur, bei der es in den Eismeeren bei Spitzbergen noch eigentlich zu schneien pflege, eine Temperatur von — 12°,3 C. an; allein diese Beobachtungen wurden dort blos während des Sommers angestellt.

Der Schnee entsteht meist wie der Regen (s. d. Art.) aus dem Dampfgehalte der Atmosphäre, wenn kalte und wärmere Luftschichten sich mengen, und dann die Temperatur der entstandenen Mengung so weit erniedrigt wird, daß der Wasserdampf nicht mehr expandirt bleiben kann, nur daß hier, beim Schnee, die Mitteltemperatur der gemengten Luftschichten niedriger ist. In den ungleich erwärmten Luftströmungen, die sich mengen, liegt dann auch die Ursache, warum es nach dem Schneien bald kälter, bald wärmer werden kann, je nachdem nämlich bald die kältere, bald die wärmere Luftschicht die Oberhand behält. Eben so hängt hiermit die Erscheinung zusammen, daß der immer feiner werdende Regen allmälig

*) Lehrb. der Meteorologie. Th. I. S. 406.

in Schnee übergeht, welcher anfangs auf der noch wärmeren Erde schmilzt, dann aber sich erhält, und bei zunehmender Kälte liegen bleibt. Dies geschieht, wie L. v. Buch zuerst genauer beobachtete und Dove bestätigte, vorzüglich dann, wenn der Wind von S. durch W. nach N. übergeht, und das Barometer zu steigen beginnt (s. d. Art. Wind). Da nämlich die nördlichen kälteren, schwereren Luftmassen in den niedrigeren Regionen strömen, und mit den südlichen Luftströmungen in Conflict gerathen, so ist hierdurch die Bedingung zur Bildung des Schnees erfüllt. So kann es denn auch während des Schneiens in Folge der Drehung des Windes nach Norden kälter werden, und auch das Schneien noch während der Kältezunahme fortdauern. Buch stellte nach einem von Beguelin geführten Register folgende Resultate zusammen. Es schneit im Winter unter hundert Malen bei

S.	SW.	W.	NW.	N.	NO.	O.	SO.
5,0	15,7	14,7	21,5	11,1	17,5	7,0	7,3.

In Deutschland und in den Ländern unter gleicher Breite fällt der Schnee häufig bei verhältnißmäßig ruhiger Luft, öfter ist aber auch das Fallen des Schnees, namentlich im Februar, mit heftigen Stürmen verbunden. Und dann geht der Wind gewöhnlich aus SW. und W. nach NW. und N., der Himmel hellt sich auf und Frost tritt ein. Nicht selten auch ist das Fallen des Schnees auf hohen Bergen von heftigen Stürmen begleitet, die, weil sie nur so lange dauern, als der Schnee fällt, vorzugsweise Schneestürme heißen. In höheren Breiten treten diese Schneestürme auch in geringeren Höhen auf. Dieselben sind höchst wahrscheinlich den Gewittern beizuzählen, was auch daraus hervorgeht, daß plötzlich eintretende starke Schneefälle bisweilen von Blitz und Donner begleitet sind. Dergleichen Schneegewitter sind selten, aber wenn sie eintreten, gewöhnlich kurz und heftig. Für die elektrische Natur solcher Schneestürme spricht auch der Umstand, den man einst zu Lochawe beobachtete, daß nämlich während eines Schneesturmes der Schnee einige Minuten leuchtete *), wie wir denn auch im Artikel Luftelektricität hervorgehoben haben, daß durch die rasche Condensation des Wasserdampfes immer Elektricität frei wird, was wohl auch dann geschehen kann, wenn der Dampf die Form des Starren annimmt. Sehr heftig sind die Schneestürme in Kamtschatka, wo sie Purga heißen, und den Reisenden oft Gefahr bringen; und nicht minder gefährlich in den Alpen, wo sie die Wege unkenntlich machen, die sogenannten Schneelehnen aufhäufen, oft Menschen und Lastthiere in Abgründe herabstürzen, oder mit den Lasten des herabrollenden Schnees bedecken.

Kleine glänzende Krystallblättchen, seltener Nadeln, sieht man in den nördlichen Gegenden Deutschlands bisweilen bei ganz heiterem Himmel und Windstille aus der Luft herabfallen. Dieselben können sich sowohl in den höheren als auch in den unteren Regionen der Atmosphäre bilden. In den mittleren Breiten sieht man sie seltener, häufiger dagegen in den höheren Breiten, wo die Menge des auf diese Weise auftretenden sogenannten Staubschnees oft sehr beträchtlich ist. So sah ihn Parry **) bei seinem Winteraufenthalt zu Fort Boven mehrmals an

*) Edinb. Phil. Journ. N. XXIV. p. 405. Ann. of Phil. N. Ser. XI. p. 154. Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 113.

**) Journ. of a third Voyage for the Discovery of a North-West Passage etc. Lond. 1826. p. 77.

heiteren Tagen herabfallen, und eine Decke von 4 bis 5 Zoll bilden. Eben so beschreibt Maupertuis *) den Schnee in Lappland als einen feinen trocknen Staub, welcher bei 4 bis 5 Fuß Höhe das Gehen sehr erschwere. Dabei dringt dieser Staub durch die feinsten Risse in die Häuser, greift die Augen an, und soll nach Middleton **) eine große Plage des hohen Nordens sein. Oft ist auch mit der Bildung dieses Schnees ein Nebel verbunden, der ebenfalls in die Gemächer dringt, und Betten und Personen nach Art des Reifs mit kleinen Eisnadeln bedeckt, wie dies Vedemar ***) von Kielvig erzählt.

Die Menge des fallenden Schnees ist nach Gegenden und Jahren sehr verschieden, am gleichmäßigsten auf den Bergen, die innerhalb der sogenannten Schneelinie liegen. Am wenigsten schneit es natürlich in den niederen Breiten; den Anfang derjenigen Region aber, wo es in der Ebene überhaupt schneiet, setzen Manche in die isothermische Linie (s. Isothermen) von 15° C., die ungefähr durch Florenz geht. Von hier an nimmt die Menge des Schnees mit den Graden der Breite zu, bis etwa zur Isotherme von 5° C., nahe bei Trontheim, von wo sie wieder abnimmt, weil in den nördlichsten Gegenden die Luft immer kälter, daher auch immer ärmer an Wasserdampf wird. Von bedeutenden Schneefällen, die man beobachtete, mögen hier nur folgende einen Platz finden.

In New-York fiel im Jahre 1741 so viel Schnee, daß er die Erde 16 Fuß hoch bedeckte. Nach L. v. Buch ****) erreichte im Winter von 1806 auf 1807, als es von Weihnachten bis in den April unaufhörlich schnetete, zu Gebostadt in Norwegen der Schnee die ungemeine Höhe von 20 Fuß, zu Lenvig von 12 Fuß, in Bergen aber nicht über 4 Fuß. In Finnmarken, namentlich im nördlichen Theile, fällt der Schnee in sehr bedeutenden Massen; so lag er unter anderen im Jahre 1813 am Tage vor Johannis noch 3 Fuß hoch. In Lappland fand Vedemar *****) einst einen Zweig von 1,5 Linien Dicke mit einem Schneekamme von 9 Zoll Höhe bedeckt. Zu Okkok in Grönland lag nach dem Zeugniß der mährischen Missionäre Ende Mai 1791 der Schnee noch 10 Fuß hoch, und an einer Seite der Kirche am 17. Mai noch 20 Fuß †). Doch sind dergleichen außerordentliche Schneehöhen oft auch nur Anhäufungen durch den Wind. Auch in neuerer Zeit hat man an verschiedenen Orten, selbst an solchen, welchen der Schnee sonst eben nicht reichlich gebracht wird, doch mitunter beträchtliche Schneefälle beobachtet. So lag im Winter von 1846 auf 1847 in der römischen Campagna ein mehrere Fuß hoher Schnee.

Wenn größere Schneemassen über Gebirgsabhänge oder steile Felswände herabstürzen, so bilden sie am Fuße derselben häufig halbkegelförmige Ablagerungen, welche man Lauwinen nennt, und zwar Grundlauwinen, wenn die Schneemasse längs dem Abhange herabgleitet, dagegen Staublauwinen, wenn die Masse mehr frei fällt und während des Fallens theilweise zerstäubt wird. Die Grundlauwinen entstehen meist im Frühjahr, wenn steile Schneedecken, die der

*) La figure de la terre etc. Amst. 1738. p. 53.

**) Phil. Transact. No. 465.

***) Reisen. Th. I. S. 255 u. Th. II. S. 115.

****) Reisen. Th. I. S. 420.

*****) Reisen Th. II. S. 107 u. 164.

†) Voigt's Magaz. Th. IX. S. 459.

Frost an ihrer Grundlage festhielt, sich von dieser lostrennen, und die Staublauwinen gewöhnlich nach reichlichen Schneefällen, wenn die an steilen Gehängen durch Adhäsion haftenden Schneemassen sich plötzlich losreißen *).

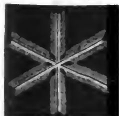
Die Wassermenge, welche der Schnee giebt, d. h. das Volumen Wasser, welches man aus einem bestimmten Volumen schmelzenden Schnees erhält, ist nach der Beschaffenheit des Schnees, vorzüglich nach seiner größeren oder geringeren Dichte verschieden. So ist z. B. der bei strenger Kälte und Nordostwind gefallene Schnee außerordentlich locker, und giebt sehr wenig Wasser, obschon seine Masse sehr groß erscheint; und da eine solche Beschaffenheit des Schnees rückwärts auf kalte Luftströmungen schließen läßt, so wird dadurch die bekannte Probe einigermaßen gerechtfertigt, nach welcher man einen Schneeball über eine Lichtflamme hält, und wenn dieser das geschmolzene Wasser, wegen der Festigkeit der einzelnen Krystalle und doch Lockerheit des Zusammenhanges unter einander, in sich saugt, behauptet, es werde noch strenge Kälte geben. Es ist natürlich, daß der frischgefallene Schnee am lockersten ist und derselbe allmälig durch seinen eigenen Druck fester wird; auch bildet sich allmälig unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen, in Folge partieller Schmelzung und nachmaligen Gefrierens des Schmelzwassers, an der Oberfläche eine feste Schneekruste. Nach van Swinden **) verhält sich nun die Dichte des Schnees zum Wasser im Minimum wie 1 zu 19, im Maximum wie 1 zu 5,56, woraus ein mittleres Verhältniß wie 1 zu 9,66 abgeleitet werden kann. Quetelet's ***) neuere Versuche bestätigen zwar im Allgemeinen das Gesetz, daß der Schnee bei großer Kälte am lockersten ist, ohne jedoch ein bestimmtes Gesetz dafür zu geben. Indessen ergiebt sich aus den Resultaten aller seiner Versuche als Mittel für das Verhältniß des Schneevolumens zu dem Volumen des Wassers 9,0658, was dem oben angegebenen ziemlich nahe kommt.

Die Farbe des aus feinen und locker zusammengehäuften Krystallen bestehenden Schnees ist ein etwas ins Bläuliche spielendes, glänzendes Weiß, welches das Licht sehr stark reflectirt, daher der Schnee auch in dunkeln Nächten leuchtet. Doch ist die starke Reflexion des Tages- und Sonnenlichtes, die zum Theil von der Vermengung der Schneeflocken mit der Luft herrührt, den Augen schädlich, daher sie auch im hohen Norden nicht selten Entzündung der Augen, oder die sogenannte Schneeblindheit verursacht. Färbungen des Schnees sind nur zufällig wie beim Regen (s. d. Art.). Am bekanntesten ist der sogenannte rothe Schnee, von dem, nach der Meinung einiger Naturforscher, schon Plinius ****) redet, der jedoch darunter wohl nur das Uebergehen der Farbe des Schnees, wenn er lange liegen bleibt, aus dem Weißen ins schmutzig Röthliche oder Gelbliche versteht, was besonders in Italien häufiger vorkommen soll. Den eigentlich rothen Schnee beobachtete zuerst Saussure *****) in den Alpen, und genauer untersucht wurde er, als Capitain J. Roß †) ihn in großer Menge in der Baffinsbay unter 75° 54′ n. Br. aufgefunden hatte. Man entdeckte bald, daß die färbende Sub-

*) Studer's Lehrb. der Geologie und phys. Geog. Th. I. S. 229.
**) Journ. de Phys. T. VIII. p. 330.
***) L'Institut. 1834. N. 59. Annuaire de l'observ. de Brux. 1834.
****) Hist. nat. L. XI. p. 35.
*****) Voyage ed. 4to. T. IV. p. 205.
†) Entdeckungsreise rc. Leipzig 1820. S. 75.

stanz vegetabilischer Natur sei; doch war man zweifelhaft, welcher Gattung sie angehöre. Bauer*) fand, daß die Pflanze unter die Schwämme gehöre, und auf dem Schnee fortwachse; die größten dieser Schwämme erreichten einen Durchmesser von $^1/_{800}$ Zoll. Er nannte die Pflanze Uredo nivalis. Robert Brown dagegen rechnete sie zu den Algen, und erklärte, sie sei der tremella cruenta verwandt. Peschier**) erklärte die Entstehung der Färbung aus zwei Ursachen, dem Vorhandensein von sehr feinem Eisenoxyd, das vielleicht in den Pflanzen selbst sich finde, und einer feinen harzigen, gelbrothen vegetabilischen Substanz, die er zu den Algen oder Lichenen gerechnet wissen wollte***). Parry sah auf seinen Reisen häufig die Gleise, in denen die Schlitten gegangen waren, gelblich oder röthlich gefärbt, auch bemerkten andere Seefahrer auf den schwimmenden Eisbergen rothgefärbten Schnee. Nach Scoresby****) rührt die Färbung dieses Schnees von einer Art kleiner Thierchen her, die, durch das Mikroskop betrachtet, sehr beweglich, von braunrother Farbe, und länglich von $^1/_{2100}$ und $^1/_{3260}$ Zoll Durchmesser erschienen; sie färbten auch bisweilen ganze Strecken der See, und in einem Tropfen befanden sich wenigstens 12960 derselben. Nach Vogt und Shuttleworth*****) besteht auch die rothe Substanz des Alpenschnees, wenigstens zu gewissen Zeiten, größtentheils aus verschiedenartigen Infusorien, die auf den Schneefeldern ihre natürliche Wohnstätte finden.

Was endlich die Gestalt der Schneeflocken betrifft, so steht dieselbe wohl nicht allein mit der Temperatur, sondern auch mit der Stärke und Richtung des Windes, dem Sättigungszustande der Luft, und vielleicht auch mit deren Elektricität und anderen Umständen in näherer Beziehung. Die ersten genaueren und vollständigen Untersuchungen über die Gestalt der Schneekrystalle, namentlich über die verschiedenen Combinationen derselben, sind von Scoresby †) angestellt worden. Die große Zahl der Schneegestalten läßt sich auf fünf Arten zurückführen: 1) Krystalle in Form dünner Blättchen, in welcher der Schnee am häufigsten auftritt. Diese zerfallen wieder a) in sternförmige, indem sechs auf beiden Seiten mit feinen Spitzen besetzte Strahlen aus einem gemeinschaftlichen Mittelpunkte auslaufen (s. nebensteh. Figur); diese Form zeigt sich am häufigsten, wenn die Temperatur dem Gefrierpunkte sich nähert; b) in regelmäßige Sechsecke, die bei allen Temperaturen auftreten, wiewohl die Dimensionen bei größerer Kälte kleiner werden; einige bestehen aus einem einfachen durchsichtigen Blättchen, andere sind innerhalb des Umfanges durch weiße Linien verziert, die wiederum kleine Sechsecke oder andere sehr mannichfaltige,



*) Phil. Trans. 1820. P. II. p. 165.

**) Bibl. univ. T. XII. p. 254. Ann. de Chim. et de Phys. T. XXI. p. 416. Gilbert's Ann. Bd. LXIV. S. 134.

***) Vergl. auch Ann. de Chim. et de Phys. T. XXVII. p. 134. Edinb. Journ. of science. N. VII. p. 167. Mém. de la Soc. de Phys. de Génève. T. IV. P. 185. Bibl. univ. T. XXXIX. p. 290. Schweigg. Journ. Bd. XLIV. S. 437.

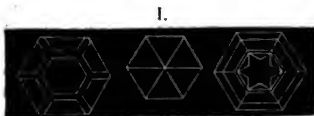
****) Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XI. p. 54.

*****) Bibl. univ. 1840.

†) An Account of the arctic regions, with a History and description of the northern Whale-Fishery. Edinb. 1820. II. T. 8. T. 1. p. 425. Dessen Reise auf den Wallfischfang, übers. von Kries. Hamb. 1825. S. 95.

regelmäßige Figuren bilden (s. beistehende Fig. I.); ihre Größe erstreckt sich von dem kleinsten sichtbaren Theilchen bis auf ungefähr 0'',1 Durchmesser; c) Zusammensetzungen der 6seitigen Figuren zeigen sich in großer Mannichfaltigkeit vorzüglich bei sehr niedrigen Temperaturen (s. Fig. II.); d) Verbindungen von 6theiligen Figuren mit Strahlen oder Zacken und hervorstechenden Winkeln (s. Fig. III.). 2) Ein flacher oder kugeliger Kern mit ästigen Zacken in verschiedenen Ebenen. Darunter a) solche, welche aus einem dünnen Krystalle von einer der oben beschriebenen Arten bestehen, von dessen Grund- und Seitenflächen sich kleine Spitzen erheben, welche mit den Blättchen Winkel von 60° bilden; der Durchmesser dieser Figuren beträgt zuweilen bis 1/4 Zoll; sie kommen am häufigsten bei einer Temperatur von — 7° bis — 4° vor; b) Figuren mit einem kugeligen Kern, von welchem Strahlen nach allen Richtungen ausgehen. Während bei der ersten Art der Kern aus einem durchsichtigen Krystalle besteht, ist er hier ein rauhes Körperchen. Diese

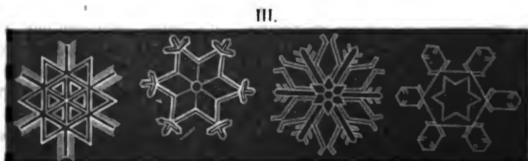
I.



II



III.



igelartigen Schneeflocken fallen nach Scoresby, wenn die Temperatur dem Gefrierpunkte nahe ist, zuweilen bei etwas niedrigern Wärmegraden. 3) Feine Spieße oder 6seitige Prismen, bisweilen sehr zart und krystallhell, bisweilen weiß und rauh. Bei der feinsten Art, die einem in Stücke von nicht über 1/4 Zoll zerschnittenen Haare gleichen, ist es schwer, die Gestalt zu bestimmen; die größeren sind prismatisch. 4) Sechsseitige Pyramiden kommen nur selten vor. 5) Spieße oder Prismen, deren eines oder beide Enden in der Mitte eines dünnen Blättchens in Gestalt einer 6seitigen Scheibe stecken, wurden von Scoresby nur zwei Mal beobachtet. — Uebrigens hat der letztere in seiner Schrift noch eine größere Anzahl der hier charakterisirten Combinationen durch Abbildungen veranschaulicht.

Schneegrenze, Schneelinie. Da die Temperatur der Atmosphäre mit wachsender Höhe abnimmt, so muß es überall auf der Erdoberfläche eine Höhe geben, wo der gefallene Schnee auch im Sommer nicht mehr völlig wegschmelzen kann. Die Linie nun, von welcher an (nach aufwärts gerechnet) der Schnee selbst im Sommer liegen bleibt, nennt man die Grenze des ewigen Schnees, oder auch die Schneelinie. Die Höhe derselben ist bedingt durch die mitt-

lere Jahrestemperatur, vor allem aber durch die Intensität und Dauer der Sommerwärme, und durch die Menge des im Winter fallenden Schnees. Je größer diese Menge ist und je kleiner die mittlere Jahrestemperatur und die Sommerwärme sind, desto tiefer geht für irgend eine Gegend die Schneelinie herab. Hat eine Gegend ein sehr excessives Klima (s. d. Art. Klima), also einen sehr strengen Winter und einen sehr heißen Sommer, so kann die Wärme des letzteren mehr als hinreichend sein, den im Winter gefallenen Schnee wegzuschmelzen. So beträgt die mittlere Temperatur des heißesten Monats in Jakutzk, bei einer mittleren Jahrestemperatur von — 9°,7, etwa 20°,3, so daß hier der Schnee völlig wegschmilzt und noch Cerealien gebaut werden können.

Wenn zwei Orte gleiche mittlere Jahrestemperatur haben, so richtet sich für dieselben die Höhe der Schneelinie vorzugsweise nach der Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten. Je gleichförmiger diese Vertheilung, und je geringer in Folge dessen die Sommerwärme ist, desto weniger wird der in der kälteren Jahreszeit gefallene Schnee im Sommer völlig hinwegschmelzen können; und desto tiefer wird die Schneelinie herabreiche. Die mittlere Jahrestemperatur kann dabei aber über 0° sein. In höheren Breiten liegt die Schneegrenze höher als die Isotherme (s. d. Art. Isothermen) von 0°, am Aequator unterhalb dieser Isotherme. Die mittlere Temperatur der Schneegrenze ist also hier, am Aequator, höher als 0°. Nach Humboldt entspricht die Schneegrenze daselbst der Isotherme von 0,4°, in der gemäßigten Zone der Isotherme von — 4°, und in der kalten Zone der von — 6°. Nach Kämtz hat man für die heiße Zone — 0°,2, für die gemäßigte — 1°,5, und für die kalte — 4°,8.

Für Küstengebirge muß im Allgemeinen die Schneelinie tiefer herabgehen als für Gebirgsgegenden im Innern der Continente. Denn dort ist der jährliche Spielraum der Temperatur geringer und die Luft feuchter; es fällt also daselbst auch mehr Schnee, und der Sommer ist weniger heiß als hier.

Einen besonderen Einfluß auf die Höhe der Schneelinie übt noch die Configuration, der Gegensatz der Sonnen- und Schattenseite eines Gebirgs, und die Beschaffenheit des Bodens (bezüglich seiner mehr oder weniger starken Wärmeabsorption, oder des leichteren Abflusses, den er dem Wasser gewährt). Hugi *) machte, um diesen Einfluß zu beseitigen, den Vorschlag, nur die auf den Gletschern beobachtete Schneegrenze, die sogenannte Firnlinie, zu berücksichtigen, deren Höhe nach ihm auf den Alpen etwa 7600 bis 7800 Fuß beträgt; und dies ist die Höhe, bis zu welcher im Sommer auch auf der Oberfläche der Gletscher der im Winter gefallene Schnee schmilzt.

Die Grenze des ewigen Schnees verändert sich mit den Jahreszeiten, und liegt überdies in kühlen Sommern tiefer als in heißeren. Man spricht hiernach auch wohl von einer mittleren Schneegrenze, und unterscheidet bezüglich dieser eine obere und untere Grenze, nämlich mit Rücksicht auf die Extreme der Tiefe und Höhe, welche jene, die mittlere, in verschiedenen Jahren erreicht. Doch hat man die obere Schneegrenze noch in einer anderen Bedeutung genommen. Wenn man nämlich ein Gebirge im Sommer besteigt, so trifft man zunächst auf einzelne

---

*) Alpenreise. 1830.

Schneepartieen, die mit der Höhe an Ausdehnung gewinnen und sich zuletzt zu einer allgemeinen Schneedecke vereinigen, obwohl auch in den größten Höhen noch nackte Felsen hervorragen. Die Unterscheidung zwischen unterer und oberer Schneegrenze hat man nun eben auf das erste Vorkommen jener vereinzelten Schneepartieen und den Beginn der zusammenhängenden Schneedecke bezogen.

Nach den Ermittelungen von Hällström *) und Kämtz **) findet sich nirgends auf der Erde ewiger Schnee im Niveau des Meeres; doch soll, nach J. Roß, die untere Grenze des ewigen Schnees den Erdboden zwischen dem 67. und 71. Breitengrade schneiden.

Einen bemerkenswerthen Unterschied bezüglich der Schneegrenze zeigen die nördliche und südliche Abdachung des Himalaya. Auf jener liegt die Schneelinie nach Humboldt 3420′ höher als auf dieser. Die letztere (südliche) fällt nämlich bis zum Niveau des Meeres ab, während die erstere sich an die bedeutende Hochebene von Tibet anschließt. Die über dem indischen Ocean aufsteigende Luft schlägt nun auf der südlichen Abdachung in den höheren Gegenden des Gebirges eine große Masse von Schnee nieder, was auf der nördlichen nicht so der Fall sein kann, weil hier die Luft bei weitem trockner ist.

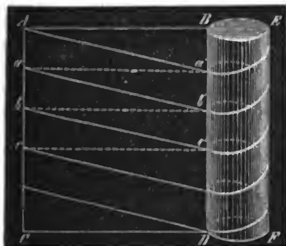
Die folgende Tabelle enthält nach Humboldt die Höhe der Schneegrenze an verschiedenen Orten der Erde.

Orte	Breite	Höhe der unteren Grenze des ewigen Schnees	Ermittelt durch	Mittlere Temperatur am Meere in gleicher Breite		Mittlere Temperatur in der Höhe	
				Jahr	Sommer	Jahr	Sommer
Norwegen, Küste . .	71° 25′ N.	720m	v. Buch	0°,2	6°,4	-3°,9	2°,3
Norwegen, im Innern	61° 2′ "	1560	"	4,2	16,3	-4,5	7,6
Kamtschatka . . .	56° 40′ "	1600	Erman	2,0	12,6	-6,9	3,7
Altai	50° "	2144	Ledebour	7,3	16,8	-1,4	8,1
Alpen	45° 45′ "	2708	v. Humboldt	11,2	18,4	-4,0	3,2
Kaukasus (Elbruz) .	43° 21′ "	3372	Kupffer	13,8	21,6	-5,0	2,8
Pyrenäen	43° ′ "	2728	Ramond	15,7	24,0	0,4	8,7
Ararat	39° 42′ "	4433	Parrot	17,4	25,6	-7,1	1,1
Himalaya, nördl. Abhang	30¾-31° "	5067	Colebrooke	—	—	—	—
Himalaya, südl. "	—	3956		20,2	25,7	2,0	7,5
Mexico . . . . , .	19° 15′ "	4500	v. Humboldt	25,0	27,8	-0,6	2,2
Abyssinien	13° 10′ "	4287	Rüppel	—	—	—	—
Sierra Nevada de Merida	8° 5′ "	4550	Codazzi	27,2	28,3	1,4	2,5
Cordilleras von Quito	0° 0′ "	2824	v. Humboldt	27,7	28,6	0,3	1,2
" " Chili .	15° S.	4853	Pentland	—	—	—	—
Chili, Andes der Küsten	41—44° "	1832	Darvin	—	—	—	—
Magellansstraße . .	53—54° "	1130	King	5,4	10	-0,9	3,7

*) De term. nivali. 1823.
**) Meteorologie. Th. II. 1832.

Schornstein, s. Heizung, Bd. III. S. 746.

Schraube ist eine Maschine, die nachstehende Einrichtung hat. Ein Cylinder ist mit einer prismatischen Wulst (Gewinde) mehrmals auf eigenthümliche Art, in der Richtung der sogenannten Schraubenlinie, umwunden. Diesen Cylinder nennt man eine Schraubenspindel. Die Richtung der Schraubenlinie auf der krummen Oberfläche eines Cylinders findet man aber auf folgende Weise. Man denke sich diese Oberfläche abgewickelt und in eine Ebene ausgespannt; so erhält man ein Rechteck, wie beistehende Figur zeigt. In diesem theile man die beiden gleichen einander gegenüberstehenden Seiten in gleich viele gleiche Theile und ziehe die diagonalen Linien A a′, a b′, b c′ u. s. f. Legt man sodann die Ebene wieder um den Cylinder, so trifft gewiß a mit a′, b mit b′, c mit c′ 2c. zusammen, und die diagonalen Linien A a′, a b′, 2c. verbinden sich zu einer doppelt gekrümmten, um den Mantel des Cylinders sich schlingenden Linie: der Schraubenlinie. Jeder Punkt dieser Linie ist nach der angegebenen Entstehung derselben von der Art, daß eine in ihm an die Curve gelegte Tangente denselben Winkel B A a′ mit der verlängerten Grundfläche des Cylinders macht. Dieser Winkel ist die Neigung der Schraubenlinie.



Denkt man sich in der krummen Oberfläche des Cylinders beliebig viele gerade, mit der Axe parallele Linien gezogen, so werden diese sämmtlich durch die Schraubenlinie in gleiche Theile zerlegt; jeder dieser Theile verbindet zwei gegenüberliegende und in der Richtung der Axe gegeneinander liegende Punkte der Schraubenlinie, und heißt die Höhe eines Schraubenganges, während dieser letztere selbst das Stück der Schraubenlinie ist, welches zwischen zwei auf diese Weise zusammengehörigen Punkten derselben liegt. Ein Körper nun, welcher so ausgehöhlt ist, daß die in ihm liegende Höhlung die Form der Schraubenlinie hat, heißt eine Schraubenmutter. Mit derselben ist dann eine Schraubenspindel verbunden, deren Hervorragungen in die Vertiefungen der Schraubenmutter passen. Die Spindel nennt man wohl auch, im Gegensatze zur Schraubenmutter, die männliche Schraube. Die Hervorragungen der Spindel oder die prismatische Wulst, welche in der Richtung der Schraubenlinie um den Cylinder herumgeht, kann entweder einem vierseitigen Prisma, wie in umstehender Figur, oder einem dreiseitigen Prisma gleichen. Beim Gebrauche wird die Schraubenspindel in die Schraubenmutter, deren Höhlung ihr genau entsprechen muß, hineingesteckt, und bei der Drehung entweder der einen oder der anderen um die Axe der Schraube wird die Schraubenmutter an der Schraubenspindel emporsteigen oder diese in jene herabsteigen. Oberhalb hat die Spindel einen Ansatz C (s. umst. Fig.), welcher der Kopf heißt, und an welchem, wenn die Schraube gedreht werden soll, die Kraft angebracht wird. Zu letzterem Zwecke ist entweder ein Einschnitt oder eine Durchbohrung am Kopfe angebracht, so daß man einen scharfkantigen oder einen stabartigen Gegenstand einsetzen und mit diesem als mit einem Hebel die Drehung der Schraube bewerkstelligen kann. Zuweilen erhält statt dessen auch der Kopf

eine bestimmte eckige Form, und die Drehung wird mit einem Hebel (Schraubenschlüssel) vollbracht, dessen eines Ende ebenmäßig mit der Gestalt des Kopfes ausgeschnitten ist, und über denselben gestülpt werden kann. Wenn die Schraube in die Schraubenmutter, nach der einen Seite gedreht, herabsteigt, wird sie, nach der entgegengesetzten Seite gedreht, heraufgehen. Schrauben von fester Masse (Eisen) und mit scharfen Kanten dringen von selbst in eine weichere Masse bei der Drehung ein, so daß sie sich eine Schraubenmutter selbst aushöhlen. Von dieser Art sind die Holzschrauben.

Hängt an der Schraube die Last Q, so ruht solche vermittelst der Schraubengänge auf der schiefen Ebene der hohlen Gewinde in der Mutter. Aus der Figur S. 753 geht aber hervor, daß in der Mutter so viele schiefe Ebenen, wie Aaa', abb', bcc', ... vorhanden sind, als sie hohle Schraubengänge enthält. Besitzt sie daher n Schraubengänge, so enthält sie n schiefe Ebenen, deren Länge so groß ist wie ein Schraubengang, deren Höhe der Höhe oder Weite des Schraubenganges und deren Grundlinie der Peripherie der Spindel gleich ist.

Wenn das Gewicht Q gegeben ist, welches an einer Schraube hängt, deren Spindel einen Halbmesser = r hat, und bei welcher der Neigungswinkel der Gänge = α ist; so kommt es darauf an, die Kraft P zu finden, welche, an dem Umfange der Schraube wirkend, dem Abgleitungsstreben der Schraube das Gleichgewicht halten kann. Hat die Schraubenmutter n Schraubengänge, so ist auf diese die Last Q gleichmäßig vertheilt, und jeder dieser Gänge hat einen Druck, der gleich $\frac{1}{n}$ des Gesammtdruckes von Q ist, zu erleiden. Daher wird auch das Abgleitungsstreben von jedem dieser Gänge nur $\frac{1}{n}$ des Gesammtbestrebens von Q betragen, und die Kraft, welche diesem Bestreben das Gleichgewicht halten soll, wird auch nur $\frac{1}{n}$ P zu sein brauchen. Da nun $\frac{1}{n} P : \frac{1}{n} Q = P : Q$ ist, so kommt es bei der Bestimmung der Kraft P, welche dem Abgleitungsstreben entgegenwirken soll, auf die Anzahl der in der Mutter enthaltenen Gänge nicht an. Was dagegen den Druck auf die Schraubengänge betrifft, so ist die Anzahl der Schraubengänge in der Mutter nicht gleichgiltig; denn man erkennt, daß bei schweren Lasten wenige Gänge leicht ausbrechen können und nicht so gut den gehörigen Widerstand zu leisten vermögen, als dies der Fall ist, wenn deren mehrere vorhanden sind. Da nun die Kraft P, welche die Schraube zu drehen strebt, und an irgend einem beliebigen Punkte des Umfanges derselben angebracht ist, immer nur in den der Grundfläche parallelen Ebenen wirkt, also parallel mit den Grund-

linien der schiefen Ebenen, die hier durch die Gänge in der Mutter dargestellt werden, so wird, wenn man den Neigungswinkel der Schraubengänge durch α bezeichnet, $P = Q \,.\, \text{tang}\,.\, \alpha$ sein. Denn es kommt hier der Fall der schiefen Ebene in Anwendung, wo der Zug parallel mit der Horizontalebene wirkt (s. Artikel Ebene, Bd. II. S. 586). Doch ist hier noch zu bemerken, daß, weil die drehende Bewegung der Schraube um ihre Axe geschieht, die Last aber am Umfange der Schraube wirkt, und also um r von der Axe entfernt ist, der Halbmesser r als ein Hebelarm zu betrachten sei, dessen Bewegungspunkt in der Axe liegt, und an dessen Ende das gefundene Abgleitungsbestreben wirkt. Hiernach entsteht also ein Moment der Last, welches gleich ist $Q \,.\, r \,.\, \text{tang}\,.\, \alpha$. Da indeß hier vorausgesetzt worden, daß auch die Kraft P am Umfange der Schraube, also an dem nämlichen Hebelarme r wirkt, so wird man haben: $P \,.\, r = Q \,.\, r \,.\, \text{tang}\,.\, \alpha$, mithin wieder $P = Q \,.\, \text{tang}\,.\, \alpha$.

Der Angriffspunkt der Kraft ist aber bei der Schraube, schon der Unbequemlichkeit wegen, niemals unmittelbar an deren Umfange angebracht, sondern es wird gewöhnlich durch deren Kopf eine Stange CD gesteckt, welche zum Angriff bei der vorzunehmenden Drehung der Schraube dient. Hierdurch wird aber zugleich eine bedeutende Ersparung an Kraft herbeigeführt, weil diese Stange einen Hebelarm abgiebt, dessen Drehpunkt gleichfalls in der Axe der Schraube liegt. Nimmt man nun, wie vorher, den Arm der Last: $CE = r$, und setzt den Arm der Kraft: $CD = R$, so wird Gleichgewicht stattfinden, wenn $P \,.\, R = Q \,.\, r \,.\, \text{tang}\,.\, \alpha$ ist, woraus folgt $P = \frac{r \,.\, \text{tang}\,.\, \alpha}{R} \,.\, Q$.

Wenn das Gewicht Q gegeben ist, welches an einer Schraube hängt, deren Spindel den Halbmesser r hat, und bei der die Höhe der Schraubengänge $= h$ ist; so findet man leicht die Kraft P, welche, an dem Hebelarme $CD = R$ wirkend, dem Abgleitungsbestreben der Schraube das Gleichgewicht hält.

Da hier statt $\text{tang}\,.\, \alpha$ die Höhe des Schraubenganges, oder der schiefen Ebene gegeben ist, so verhält sich die Grundlinie der letzteren zu ihrer Höhe h, wie 1 zu $\text{tang}\,.\, \alpha$. Diese Grundlinie ist aber gleich dem Umfange der Spindel, $= 2\pi r$. Daher $2\pi r : h = 1 : \text{tang}\,.\, \alpha$, mithin $\text{tang}\,.\, \alpha = \frac{h}{2 r \pi}$.

Substituirt man diesen Werth von $\text{tang}\,.\, \alpha$ in die obige Gleichung für P, so erhält man: $P = \frac{r \,.\, \frac{h}{2 r \pi}}{R} \,.\, Q = \frac{h}{2 R \pi} \,.\, Q$.

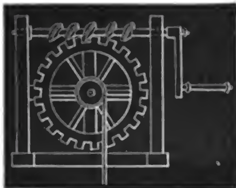
Man findet also die Kraft P, wenn man die Höhe des Schraubenganges durch die Peripherie dividirt, welche den Hebelarm der Kraft zu ihrem Radius hat, und den Quotienten mit der Last multiplicirt.

Der Gebrauch der Schraube ist höchst mannichfaltig. Häufig bedient man sich ihrer, entweder um große Lasten auf kleine Höhen zu heben, oder Körper mit einander besonders fest zu verbinden, oder auch zu verschiedenen Arten von Pressen. Auch ist es bekannt, daß versunkene hölzerne Häuser, und selbst Thürme, vermittelst eines Paares verbundener Schrauben wieder in die Höhe gerichtet werden können.

Die gewöhnlichste Verbindung der Gegenstände mittelst Schrauben ist die, wie bei den Bolzen, welche an einem Ende mit einem breiten Kopfe versehen und an deren anderem Ende einige Schraubengänge eingeschnitten sind. Der Bolzen wird durch die Gegenstände, die mit einander verbunden werden sollen, hindurchgesteckt, und auf das mit dem Schraubengewinde versehene Ende die Schraubenmutter aufgesetzt und festgeschraubt, bis beide Gegenstände hinreichend fest an einander gepreßt sind. Man kann auch in dem einen Gegenstand die Mutter unbeweglich fest machen, und nun durch den anderen an jenen zu befestigenden Gegenstand die mit einem Kopfe versehene männliche Schraube stecken.

Ueber die Anwendung der Schraube zum Pressen vergleiche den Art. Presse, S. 472 ff., wo auch gezeigt ist, wie die bei der Schraube stattfindende Reibung in die Rechnung einzuführen ist.

Eine weitere Anwendung hat die Schraube als feineres Maßwerkzeug gefunden, worüber der Artikel Mikrometer nachzusehen ist.



Man verbindet die Schraube auch zuweilen mit dem Rade an der Welle, so daß die Schraubengänge in die schräg gestellten Zähne eines Stirnrades eingreifen (s. nebensteh. Fig.). Diese Vorrichtung führt den Namen der Schraube ohne Ende, weil die Schraube ohne Aufhören in die immer wiederkehrenden Zähne des Rades eingreift, und bei ihr kommen die Vortheile der Schraube mit denen des Rades an der Welle (s. d. Art.) zusammen. Dieselbe läßt sich zum Heben großer Lasten bei Anwendung einer geringen Kraft gebrauchen. Die durch sie bewirkte Bewegung ist freilich sehr langsam, doch kann sie auch, um dieses Umstandes willen, zum Messen kleiner Bewegungen benutzt werden.

Schraubenmikrometer, s. Mikrometer.

Schwefel (lat. sulphur, franz. soufre, engl. sulphur, ein einfacher Körper, der zu den Nichtmetallen gerechnet wird. Chemisches Zeichen = S. Aequivalent = 200 (O = 100) oder = 16 (H = 1).

Der Schwefel findet sich in der Natur sehr häufig und zwar in allen drei Reichen, in größter Menge jedoch im Mineralreich. Er gehört zu den wenigen Elementen, die in der Natur im reinen Zustande krystallisirt (in rhombischen Octaëdern) vorkommen. Den gediegenen Schwefel trifft man besonders im Flözgebirge an, im Kalkstein, Gyps und Mergel, seltener im Sandstein, entweder, wie schon angeführt, in Krystallen oder in Körnern, Knollen und Nestern. Sehr schön ausgebildete Krystalle findet man in Sicilien bei Girgenti. Außerdem bildet der Schwefel noch mit verschiedenen erdigen Substanzen gemengt große Lager in Italien, Mähren und Polen *). Die Hauptfundgrube ist indessen die Insel Sicilien und hier wieder der südliche Theil, namentlich die Provinz Girgenti. Von hier aus wird fast ganz Europa und selbst Amerika mit Schwefel versorgt, so daß die

*) Eine Beschreibung der Schwefellager von Swoszowice bei Krakau und Radoboj in Kroatien findet man im Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXVI. S. 305.

Schwefelgruben für die Einwohner der Insel von großer Wichtigkeit sind. Man führt an, daß in denselben 3000 Arbeiter und 4000 Kinder beschäftigt sind und außerdem noch bei dem Transport 3000 Maultiertreiber mit 10000 Thieren. Theils frei, theils in Verbindung mit Wasserstoff wird der Schwefel noch fortwährend von den Vulkanen ausgestoßen. Am großartigsten soll dies durch den Popocatepetl in Mexico geschehen, wo sich durch die Länge der Zeit ein wahrhaft unerschöpfliches Lager des reinsten Schwefels gebildet haben soll.

Außerdem tritt der Schwefel auch in Verbindung mit Metallen auf; diese Verbindungen bezeichnet der Mineraloge mit den Namen Glanze, Kiese oder Blenden, z. B. Bleiglanz, Schwefelkies (Schwefeleisen), Zinkblende ꝛc. Ferner findet man den Schwefel mit Sauerstoff und Basen verbunden in mächtigen Ablagerungen als Gyps, Schwerspath; außerdem noch viele andere schwefelsaure Salze, theils als Mineralien oder Bestandtheile der Ackererden und des Wassers. Aus letzteren gehen verschiedene schwefelsaure Salze in die Pflanzen und die thierischen Körper über; in beiden aber tritt auch der Schwefel als solcher in verschiedenen organischen Verbindungen auf. Unter den Pflanzen sind es besonders die Cruciferen, welche Schwefel enthalten. Im thierischen Körper bildet der Schwefel besonders einen Bestandtheil der Proteïnverbindungen; man trifft ihn also in dem Eiweiß, dem Käsestoff, dem Harn, den Haaren, der Haut und den Muskeln. Man nimmt an, daß ein erwachsener Mensch ungefähr $7^1/_2$ Loth Schwefel enthält.

Eine Substanz, die in der Natur so verbreitet ist, konnte der Aufmerksamkeit der alten Völker nicht entgehen. Schon Homer spricht vom Schwefel, der besonders bei religiösen Ceremonien zum Räuchern verwendet wurde, weil, wie Plinius sagt, die Flamme des brennenden Schwefels das Antlitz der Anwesenden mit der Blässe des Todes bedeckte. Auch als Heilmittel wurde der Schwefel bereits im Alterthum gebraucht. Bei den älteren Chemikern spielte der Schwefel eine sehr große Rolle.

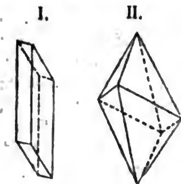
Bei gewöhnlicher Temperatur ist der Schwefel fest; er besitzt eine hellgelbe, zuweilen ins Grünliche gehende Farbe, ist durchscheinend oder undurchsichtig, zerbrechlich, ein schlechter Leiter für Wärme und Elektricität; durch Reiben wird er leicht elektrisch und dann tritt noch ein eigenthümlicher Geruch mehr hervor. Mitunter tritt der natürliche Schwefel in einer anderen als der gelben Farbe auf; so ist z. B. der von Radoboy in Ungarn roth, ähnlich dem oft geschmolzenen Schwefel, und der von Schmölnitz grün. Diese Färbungen rühren von eingemengten bituminösen Substanzen her *). In Wasser ist der Schwefel unlöslich; Aether, Alkohol und ätherische Oele lösen selbst in der Wärme nur sehr wenig davon auf. Die eigentlichen Lösungsmittel sind Schwefelkohlenstoff und Chlorschwefel. Auch durch fette Oele wird der Schwefel aufgelöst, doch läßt er sich daraus nicht wieder unverändert abscheiden. Bei einer Temperatur von 111° schmilzt der Schwefel. Die nicht geschmolzenen Stücke bleiben dabei auf dem Boden des Gefäßes liegen, woraus hervorgeht, daß der Schwefel sich beim Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand bedeutend ausdehnt. Setzt man die Erhitzung längere Zeit fort, so verliert der geschmolzene Schwefel immer mehr seine helle Farbe und seine Dünnflüssigkeit. Bei einer Temperatur von 160°

*) Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 657.

fließt er nur noch sehr schwierig und die Farbe hat sich bereits in Braun verwandelt; bei 200° kann man das Gefäß umkehren, ohne daß der Schwefel herausfließt. Bei 400° kocht der Schwefel und nimmt Dampfform an. Gießt man den geschmolzenen Schwefel, der bis über 200° erhitzt worden ist, in einem dünnen Strahle in kaltes Wasser, so daß er sich plötzlich abkühlt, so behält er die dunkle Farbe, aber er wird nur nach längerer Zeit hart. Er bleibt oft Tage lang zähe, weich und durchsichtig. Er wird aber sehr bald hart wie der gewöhnliche Schwefel, wenn man ihn auf 100° erhitzt. Die Verwandlung geht dann plötzlich vor sich und entwickelt sich hierbei eine bedeutende Wärme, so daß das Thermometer plötzlich um 10° höher steigt. — Beim Erhitzen des Schwefels muß man sehr vorsichtig sein, da der erwärmte Schwefel sich sehr leicht mit dem Sauerstoff der Luft verbindet und dann in Flammen ausbricht.

Der flüssige Schwefel geht ohne Zwischenstufe aus dem flüssigen in den festen Zustand über und deshalb ist er zum Krystallisiren geeignet. Diesen Vorgang kann man deutlich beobachten, wenn man geschmolzenen Schwefel langsam in einer Glasröhre erkalten läßt. Ist die Temperatur bis auf 111° gesunken, so bemerkt man, daß von einem Punkte der Wandung Nadeln ausgehen, die sich nach und nach immer weiter in die Masse hineinerstrecken. Diese Krystalle geben wiederum Veranlassung zu neuen, bis nach und nach die ganze Masse fest geworden ist. Die Krystalle sind nun aber durch einander gewachsen und man hat nun eine strahlig krystallinische Masse. Will man schöne Krystalle erzeugen, so schmilzt man größere Mengen (ungefähr 4 bis 6 Pfund) und wartet die Erstarrung der ganzen Masse nicht ab. Sobald sich an der Oberfläche eine feste Decke gebildet hat, durchstößt man diese und läßt den noch flüssigen Schwefel auslaufen. Die inneren Wände sind dann mit sehr schönen Krystallen reichlich besetzt. Um die Krystalle zum Anschauen gehörig bloß zu legen, bricht man die ganze Decke vorsichtig fort oder schmilzt sie mit einer heißen Eisenstange ab, wobei man aber das Gefäß mit der Oeffnung nach unten kehrt, um die Krystalle nicht zu zerstören. Oder man sucht das Gefäß von der Masse zu entfernen und sägt diese aus einander.

Diese Krystalle sind schiefe rhombische Säulen (2- und 2-gliederig) (s. beistehende Fig. I.), also durchaus von den natürlich vorkommenden Schwefelkrystallen, den rhombischen Octaëdern (1- und 1-axig) (s. Fig. II.) verschieden. Die letztere Form nimmt der Schwefel an, sobald er aus Auflösungen in Schwefelkohlenstoff, Chlorschwefel oder Terpentinöl krystallisirt, indem man diese der freiwilligen Verdunstung überläßt, oder beim Sublimiren. Der Schwefel besitzt also die Fähigkeit, in zwei ganz verschiedenen Krystallformen aufzutreten und deshalb nennt man ihn dimorph. Diese verschiedenen Formen gehören zwei verschiedenen allotropischen Zuständen des Schwefels an. Die natürlichen Krystalle bezeichnet man als α Schwefel und die rhombischen Prismen als β Schwefel; als dritte Modification, γ Schwefel, sieht man den bereits erwähnten weichen Schwefel an, den man den amorphen nennt *). Das specifische Gewicht dieser drei Modificationen ist ein verschiedenes; der α Schwefel besitzt das höchste



*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XVI. S. 1. u. Bd. XXIV. S. 133.

(2,045 bis 2,066), der γ Schwefel das niedrigste (1,957) und der β Schwefel steht in der Mitte (1,962). Das spec. Gew. des natürlichen Schwefels ist höher, wahrscheinlich durch fremde Beimengungen.

Um α Schwefel in β Schwefel umzuändern, bedarf es nicht einmal einer Schmelzung; man darf nur die Modification α längere Zeit in einer dem Schmelzpunkte nahen Temperatur erhalten. Die Umänderung von β Schwefel in γ Schwefel erfolgt bei ungefähr 250°. Die zweite und dritte Modification können aber nicht lange Zeit für sich bestehen; sie gehen stets wieder in die erste Modification über. Die beim Schmelzen des Schwefels gewonnenen Krystalle verlieren schon nach kurzer Zeit die Durchsichtigkeit und die geringe Elasticität; auch die Farbe verändert sich in ein helleres Gelb. Betrachtet man nun die Krystalle unter dem Mikroskop, so findet man, daß sie aus einer Menge von kleinen Krystallen bestehen, die genau die Form der natürlichen Krystalle besitzen. Die Prismen sind also nur noch Afterkrystalle. Diese Verwandlung erleidet auch der gewöhnliche Stangenschwefel und daher rührt auch seine Undurchsichtigkeit. — Bei den durch Schmelzen des Schwefels erhaltenen Krystallen kann man die Umänderung durch Erschütterung oder Ritzen bewirken; am schnellsten aber nach Mitscherlich *) durch eine gesättigte Auflösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff. Die Umänderung erfolgt so rasch, daß es möglich ist, die Wärme zu bestimmen, die dabei frei wird. Auch der zähe Schwefel, also die γ Modification, ändert sich in Berührung mit Schwefelkohlenstoff schnell in den gewöhnlichen Schwefel um.

Die verschiedenen Farben der Modificationen sind nach Mitscherlich **) nicht wesentlich. Die beim Schmelzen entstehende Färbung rührt von Fett her. 1 Th. Fett auf 500 Th. Schwefel färbt diesen beim Schmelzen ganz schwarz und 1 Th. Fett auf 3000 Th. Schwefel tief roth. Schon das Angreifen mit der Hand reicht aus, dem Schwefel so viel Fett mitzutheilen, daß er nach dem Schmelzen nicht mehr rein gelb erscheint. Befreit man aber den Schwefel von der angegriffenen Oberfläche und glüht man das Gefäß vorher aus, so kann man den Schwefel so oft wie man will bis zum Kochen erhitzen, ohne daß er seine Farbe verändert. Nach Magnus ertheilen auch fettfreie Substanzen, wie Zucker, Stärke, Baumwolle, dem Schwefel eine mehr braunrothe Farbe und selbst die Staubpartikelchen der Luft scheinen dazu auszureichen.

Die verschiedenen Modificationen des Schwefels sind in neuerer Zeit vielfach Gegenstand der Untersuchung gewesen und dabei noch andere entdeckt worden. Wir verweisen dieserhalb auf die Literatur ***).

Da der Schwefel stets mehr oder weniger mit erdigen Beimengungen ge-

*) Ber. d. Berl. Akad. 1852. S. 636.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII. S. 369.

***) Fondos und Gélis, über den in Schwefelkohlenstoff unlöslichen Schwefel: Compt. rend. T. XXXII. p. 380. — Brame, über die Krystallisation des Schwefels, ibid. T. XXXIII. p. 538; über die Zustände des Schwefels, ibid. p. 579; über die Dichte des Schwefels, ibid. T. XXXV. p. 748; über Amorphismus und Polymorphismus des Schwefels, ibid. T. XXXVII. p. 336. — Deville, über den Dimorphismus und die Umwandlung des Schwefels, ibid. T. XXXIV. p. 561. — Brodie, über den Schmelzpunkt und die Umwandlung des Schwefels, chem. Centralbl. 1854. S. 517. — Magnus, über rothen und schwarzen Schwefel, Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 308 und über die allotropischen Zustände des Schwefels, Bd. XCIX. S. 145.

mischt vorkommt, so wird er an Ort und Stelle einer Reinigung unterworfen. Die reichen Erze, die eine Ausbeute von 25 bis 20 Proc. geben, werden in einem gußeisernen Kessel geschmolzen, wobei man die Temperatur jedoch nicht über 150° steigen läßt. Die Unreinigkeiten setzen sich der größeren Schwere wegen zu Boden; sobald dies geschehen, schöpft man den flüssigen Schwefel aus und läßt ihn in einem Gefäße erkalten. Dabei zieht er sich sehr stark zusammen, so daß er also leicht aus dem Gefäß entfernt werden kann. Dieser Schwefel kommt dann in unregelmäßigen Stücken als roher Schwefel in den Handel.

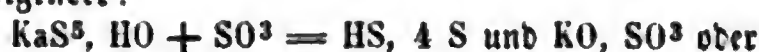
Die Absätze aus dem geschmolzenen Schwefel, so wie die ärmeren Erze, die nur 8 bis 12 Proc. Schwefel enthalten, werden einer Destillation unterworfen. Der Apparat ist sehr einfach. In einem sogenannten Galeerenofen stellt man in zwei Reihen irdene Tiegel auf, deren jeder ungefähr 20 Quart faßt. Diese füllt man mit den Erzen und schließt oben die Oeffnung, die zum Füllen und Entleeren dient. Aus dem oberen Theil des Tiegels führt ein Rohr in einen ähnlichen Tiegel, der als Vorlage dient, oder letztere hat unten eine Oeffnung, aus der man von Zeit zu Zeit den flüssigen Schwefel in ein Gefäß mit Wasser fließen läßt. Das Verfahren hierbei ist so roh, daß der Schwefel immer noch mit 10 bis 15 Proc. fremden Stoffen verunreinigt ist. Will man hierüber Aufschluß erhalten, so unterwirft man eine kleine, genau abgewogene Menge einer sorgfältigen Destillation oder man verbrennt sie; aus dem Gewichte des Rückstandes berechnet man dann leicht das Gewicht der Verunreinigung.

Die weitere Reinigung des Schwefels wird gemeinhin in denjenigen Ländern ausgeführt, wo er verbraucht werden soll. Man schmilzt den Schwefel, läßt die Unreinigkeiten absetzen und unterwirft ihn dann einer neuen Destillation. Beide Operationen nimmt man jedoch in demselben Apparate vor. Dieser besteht in einem gußeisernen Kessel oder einer Retorte; letztere hat eine Länge von 44,75 Fuß und einen Durchmesser von 1,5 Fuß. Oberhalb derselben ist ein Kessel angebracht, aus welchem die Retorte gespeist wird, so daß also die Destillation ohne Unterbrechung fortdauern kann. Der Anwärmekessel und die Retorte sind durch eine Röhrenleitung mit einander verbunden, durch die der geschmolzene Schwefel, sobald es nothwendig ist, in die geleerte Retorte gelangt. Früher destillirte man mit Unterbrechungen; bei jeder neuen Beschickung kam die äußere Luft mit den stark erhitzten Schwefeldämpfen in Berührung, wodurch oft gefährliche Explosionen entstanden. Die Schwefeldämpfe ziehen in eine große, aus Backsteinen erbaute Kammer ab. Die Dimensionen derselben betragen bis zu 22 Fuß Länge, 16 Fuß Breite und 7 Fuß Höhe, so daß also die Kammer einen Inhalt von 2464 Cubikfuß hat. Ein darin angebrachtes Ventil verstattet den Austritt der warmen Luft, hält aber das Eindringen der äußeren Luft ab. Je nachdem man nun die Destillation mehr oder weniger lange andauern läßt, kann man beliebig Stangenschwefel oder Schwefelblumen, d. h. ein feines pulverförmiges Sublimat, erzeugen. Im ersteren Falle wird die Retorte mit circa 640 Pfund Rohschwefel beschickt und dann erreicht die Kammer mit der Zeit eine Temperatur, bei der der Schwefel schmilzt. Der geschmolzene Schwefel sammelt sich auf dem Boden der Kammer. Um diesen abzulassen, befindet sich in der einen Seite der Kammer eine Oeffnung von circa 1/2 Zoll Durchmesser, die ganz nach Belieben durch eine conische Stange leicht mehr oder weniger dicht verschlossen oder auch ganz geöffnet werden kann. Von Zeit zu Zeit läßt man den Schwefel durch diese Oeffnung in einen erwärmten Kessel ausfließen

und dann wird derselbe in hölzerne Formen gefüllt. Beim Erkalten zieht sich der Schwefel bedeutend zusammen und kann daher sehr leicht aus der Form entfernt werden. — In 4 Stunden ist die Destillation von 640 Pfund Rohschwefel vollbracht; in 24 Stunden kann man daher 3840 Pfund Schwefel reinigen.

Will man sogenannte Schwefelblumen fabriciren, so dürfen die Wände der Kammer nie bis zu einer Temperatur von über 100° gelangen. Je weniger hoch die Temperatur der Wände ist, um so rascher kühlen sich die Schwefeldämpfe ab. Der Schwefel fällt dann als ein feines krystallinisches Mehl, das durch das Mikroskop betrachtet, aus sehr kleinen Krystallen besteht, auf den Boden der Kammer und wird dann zu gehöriger Zeit durch eine Thür entfernt. Die Ueberhitzung der Kammer vermeidet man dadurch, daß man nur wenig Schwefel und zwar sehr langsam überdestillirt. In 24 Stunden bewerkstelligt man nur 2 Destillationen und verarbeitet hierbei nur 640 Pfd. Rohschwefel. Wegen der feinen Zertheilung sind die Schwefelblumen leichter entzündlich als der Stangenschwefel und deshalb zu verschiedenen Zwecken, namentlich zu Mischungen besser geeignet. Zu anderen Zwecken, wie z. B. bei der Pulverfabrikation zieht man jedoch den gestoßenen Stangenschwefel vor. Die Schwefelblumen reagiren stets sauer, weil sich bei der Destillation eine geringe Menge schweflige Säure bildet, die sich später in Schwefelsäure verwandelt. Für einige, namentlich medicinische Zwecke ist es nothwendig die Schwefelblumen von dieser Verunreinigung zu befreien. Dies geschieht durch Waschen mit Wasser.

Eine andere Art von sehr fein zertheiltem Schwefel ist die sogenannte Schwefelmilch (Lac sulphuris) oder der niedergeschlagene Schwefel (Sulphur praecipitatum), ein medicinisches Präparat. Um dasselbe darzustellen, löst man die gewöhnliche Schwefelleber (Fünffach-Schwefelkalium) in Wasser auf und setzt Schwefelsäure oder Chlorwasserstoffsäure unter fortwährendem Umrühren hinzu, bis Lackmuspapier von der Flüssigkeit eben geröthet wird, bis also die Säure ein wenig vorwaltet. Der Niederschlag wird sorgfältig ausgewaschen. Nimmt man Schwefelcalcium, so kann dieses nur durch Salzsäure zersetzt werden, weil die Schwefelsäure mit dem Kalk gleichfalls eine unlösliche Verbindung eingeht. Der Vorgang bei dieser Zersetzung ist folgender:



$$KaS^5, HO + SO^3 = HS, 4\,S \text{ und } KO, SO^3 \text{ oder}$$



$$CaS^5, H\,Cl = HS, 4\,S \text{ und } Ca\,Cl.$$

Die Auflösungen der unterschwefligsauren Salze werden gleichfalls durch Säuren zersetzt; in beiden Fällen aber sind die Niederschläge verschieden. Der aus alkalischen Lösungen niederfallende Schwefel ist sehr fein zertheilt und enthält auch gleichzeitig nach H. Rose eine geringe Menge Wasserstoff, während der aus den unterschwefligsauren Salzen sich niederschlagende Schwefel grobkörniger ist; ersterer besitzt eine mehr grauweiße Farbe, während letzterer mehr gelb aussieht.

An einigen Orten, wo sich Schwefelmetalle, namentlich Schwefeleisen in großer Menge finden, wie z. B. in Böhmen, Schlesien, dem Harz, Schweden ꝛc., stellt man aus diesen nebenbei auch Schwefel dar. Der Schwefelkies ($Fe\,S^2$) verhält sich beim Erhitzen ähnlich wie die Superoxyde; wie diese Sauerstoff, giebt jener Schwefel ab, wenn er bei Ausschluß der Luft erhitzt wird. Diese Operation wird meistens in irdenen Röhren (Retorten) vorgenommen, deren viele in einem Ofen liegen. Das Schwefeleisen enthält zwar 53,3 Proc. Schwefel, aber die Ausbeute beträgt in der Regel doch nur 13 bis 15 Proc., weil man eine zu starke Hitze

vermeiden muß. — Auch bei dem Rösten der Schwefelerze in großen Haufen oder in Oefen gewinnt man Schwefel. Die Verbrennung schreitet hierbei von unten nach oben vor; die Wärme wirkt also nach oben hin und treibt hier den Schwefel aus, der sich auf der Decke des Rösthaufens oder in besonderen Kanälen ansammelt. Der auf diese Art gewonnene Schwefel ist aber sehr unrein; oft enthält er Arsenik, so daß namentlich bei der Verwendung zu medicinischen Zwecken der Schwefel stets sorgfältig darauf zu prüfen ist. Man muß zu diesem Ende den gepulverten Schwefel mit verdünnter Ammoniakflüssigkeit digeriren, wodurch das Schwefelarsen aufgelöst wird. Bei Zusatz einer Säure entsteht dann in der abfiltrirten Flüssigkeit ein Niederschlag, der näher zu untersuchen ist. Reiner Schwefel giebt in Ammoniakflüssigkeit nichts ab.

Die Menge des Schwefels, der auf vorstehende Art gewonnen wird, ist nur sehr gering. Die Hauptmasse kommt aus Sizilien, da hier der Rohschwefel zu einem sehr niedrigen Preise zu kaufen ist. 100 Pfund bezahlt man in der Regel mit 24$^1/_3$ Ngr. bis zu 1 Thlr.; dafür wird der Schwefel frei an Bord der Schiffe geliefert. Dadurch allein kann sich Sizilien den Weltmarkt sichern; auf wie lange noch, das steht dahin. Wie Sizilien aufgehört hat die Kornkammer zu sein, wird es auch nicht immer die Schwefelkammer der Industriellen bleiben. Durch den unklugen Versuch, die Schwefelausfuhr mit einem hohen Zolle zu belegen, sind Anregungen gegeben worden zur Gewinnung des Schwefels aus den Kiesen; aber von größerer Wichtigkeit sind die Bestrebungen, den Schwefel aus den Abfällen der Sodafabrikation wieder zu gewinnen, so daß also der Schwefel hierbei ferner nicht mehr verloren gehen, sondern einen Kreislauf in der Fabrikation durchmachen wird; ferner die Ersetzung des künstlich bereiteten Glaubersalzes durch solches, das aus dem Meerwasser gewonnen worden ist und die Versuche, den Schwefel aus dem Gyps darzustellen.

Bis jetzt gilt die Schwefeleinfuhr eines Landes noch für den Maßstab der Entwickelung der Industrie in demselben. Nicht allein, daß der Schwefel vielfache Anwendung in der Industrie findet, sondern eine allein, die Darstellung der Schwefelsäure, kann man als die Grundlage der Industrie ansehen. Auch die schweflige Säure leistet der Industrie wichtige Dienste; hierher gehören besonders das Haltbarmachen von Flüssigkeiten, wie z. B. Wein, Blut ꝛc., die sich leicht zersetzen, und das Bleichen von Seide, Wolle, Darmsaiten und Strohgeflechten. Desgleichen werden durch die Dämpfe der schwefligen Säure Federn, Kleidungsstücke, Getreide ꝛc. vor der Zerstörung durch Insekten bewahrt. Eine wichtige Rolle spielt der Schwefel ferner bei der Fabrikation von Schießpulver, Zündhölzern, bei der Verarbeitung des Kautschuk und als Eisenkitt. Der Schwefel wird ferner zur Darstellung von Zinnober und als Medikament benutzt. Aus diesem Grunde ist daher ein Blick auf die Schwefeleinfuhr der verschiedenen Länder von großem Interesse. Frankreich führte 1820 135,800 Centner ein; 1846, also nach einem Vierteljahrhundert, war die Einfuhr bis auf 520,000 Ctr. gestiegen. Von 1842 bis 1846 betrug die Einfuhr von Rohschwefel in dem deutschen Zollverein durchschnittlich 75,000 Ctr., 1850 dagegen 171,830 Ctr. und im folgenden Jahre 134,400 Ctr. England verbrauchte 1826 236,836 Ctr. und 1849 825,676 Ctr. In Zeit von 20 Jahren 1826 bis 1846 stieg die Schwefeleinfuhr in Frankreich um 147 Proc., in England dagegen um 249 Proc. 1830 führte Sizilien im Ganzen 560,000 Ctr. Schwefel aus; 1845 war die Ausfuhr

schon bis auf 1,400,000 Ctr. gestiegen, davon bezog England mehr als 40 Proc., Frankreich gegen 35 Proc., so daß kaum 25 Proc. für Deutschland und alle übrigen Länder Europas, so wie für Nordamerika bleiben. 1852 führte Sizilien 1,896,000 Ctr. Schwefel aus, so daß also in noch nicht 25 Jahren sich die Ausfuhr mehr als verdreifacht hat. 1852 kamen auf England 37 Proc., auf Frankreich 25 Proc., auf Deutschland, Holland, Belgien und die Schweiz zusammen 12 Proc., auf Nordamerika noch nicht 2 Proc. Wie bekannt, entzündet sich der Schwefel sehr leicht und brennt dann mit blaßblauer Flamme, wobei sich erstickende Dämpfe (gasförmige schweflige Säure) verbreiten. In einem eingeschlossenen Raume kann auf diese Art leichter der Sauerstoff entfernt werden als durch das Verbrennen von Kohlen; außerdem übt die bei der Verbrennung des Schwefels entstehende schweflige Säure noch einen hindernden Einfluß auf die Verbrennung anderer Körper aus und deshalb kann der Schwefel unter Umständen als ein feuerlöschendes Mittel gebraucht werden, wie dies namentlich bei Schornsteinbränden geschieht.

Trotz der großen Verwandtschaft zum Sauerstoff verbindet sich der Schwefel mit diesem direct doch nur in einem Verhältniß und zwar zur schwefligen Säure. Außerdem kennt man freilich noch sechs andere Verbindungen des Schwefels mit Sauerstoff, aber man kann sie nur auf indirectem Wege darstellen. Alle diese Verbindungen sind Säuren; da man sie nur nach und nach kennen lernte, kam man bei der Benennung der später entdeckten Verbindungen, insofern man der gebräuchlichen Nomenclatur getreu bleiben wollte, in einige Verlegenheit, weshalb Berzelius für die verschiedenen Schwefelsäuren eigene Namen ersonnen hat. Als Grundlage dient das griechische Wort θεῖον (Schwefel), so daß alle Schwefelsäuren Thionsäuren heißen. Zur Unterscheidung aber nennt Berzelius die beiden Säuren, welche 1 Aequivalent Schwefel enthalten, also die Schwefelsäure (SO^3) und die schweflige Säure (SO^2), Monothionsäure und monothionige Säure, die Säuren mit 2 Aeq. Schwefel, die Unterschwefelsäure (S^2O^5) und die unterschweflige Säure (S^2O^2), Dithionsäure und dithionige Säure und die drei neuen Säuren mit 3, 4 und 5 Aeq. Schwefel, als die geschwefelte (S^3O^5), die zweifach geschwefelte (S^4O^5) und die dreifach geschwefelte (S^5O^5) Unterschwefelsäure, Trithion-, Tetrathion- und Pentathionsäure. Von diesen Verbindungen enthält:

die dithionige Säure	(S^2O^2)	auf 16	Gew.-Th. Schwefel	8	Gew.-Th. Sauerstoff,
Pentathionsäure	(S^5O^5)	" 16	" " "	8	" " "
Tetrathionsäure	(S^4O^5)	" 16	" " "	10	" " "
Trithionsäure	(S^3O^5)	" 16	" " "	13,33	" " "
Dithionsäure	(S^2O^5)	" 16	" " "	20	" " "
monothionige Säure	(SO^2)	" 16	" " "	16	" " "
Monothionsäure	(SO^3)	" 16	" " "	24	" " "

Von diesen Säuren können nur zwei im isolirten Zustande dargestellt werden, die Schwefelsäure und die schweflige Säure; die übrigen kennt man nur in Verbindung mit Basen. Außer den beiden angeführten Säuren hat nur noch die unterschweflige Säure Interesse.

Die unterschweflige oder dithionige Säure (S^2O^2) zerfällt in schweflige Säure und Schwefel ($S^2O^2 = SO^2 + S$), sobald man sie aus ihren Salzen durch eine andere Säure ausscheiden will. Deshalb hielt man früher die unterschwefligsauren Salze

für geschwefelte schwefligsaure Salze, also für eine Verbindung von schwefligsauren Salzen. Thomson und Gay-Lussac vermutheten zuerst hierin eine eigenthümliche Säure und Herschel bestätigte später diese Ansicht. Die unterschwefligsauren Salze kann man auf verschiedene Art erhalten. Digerirt man die Auflösung von schwefligsaurem Kali oder Natron mit gepulvertem Schwefel, so tritt ein Aequivalent Schwefel an die schweflige Säure und bildet unterschweflige Säure. Kocht man Kali- oder Natronlauge oder Kalkmilch mit Schwefel, so bildet sich neben der Schwefelverbindung auch stets unterschwefligsaures Salz; desgleichen wenn man Kali- oder Natronhydrat oder kohlensaure Alkalien bei einer nur mäßig hohen Temperatur zusammenschmilzt. Läßt man eine Auflösung von zweifach Schwefelnatrium (NaS^2) an der Luft stehen, so nimmt sie nach und nach Sauerstoff auf und das Schwefelnatrium verwandelt sich vollständig in unterschwefligsaures Natron um. Diese Verwandlung erleiden sämmtliche Schwefelalkalien, bei den höheren Schwefelungsstufen aber scheidet sich zugleich Schwefel aus und bei dem einfachen Schwefelnatrium bildet sich zugleich noch kohlensaures Natron. Löst man Zink oder Eisen in schwefliger Säure auf, so erhält man ein Gemisch von schwefligsaurem und unterschwefligsaurem Salz; letzteres entsteht daher, weil die Metalle nicht dem Wasser, sondern der schwefligen Säure den Sauerstoff entziehen, dessen sie zu ihrer Oxydation bedürfen.

Das wichtigste Salz ist das unterschwefligsaure Natron. Dasselbe löst frisch gefälltes Chlor- und Jodsilber auf; deshalb bedient man sich seiner bei der Anfertigung der Lichtbilder, um das durch das Licht nicht veränderte Jodsilber von der Platte zu entfernen. Man benutzt es auch zur Beseitigung der letzten Antheile Chlor aus gebleichten Stoffen und deshalb führt es auch den Namen Antichlor. Neuerdings hat Vohl *), wie schon früher Himly vorgeschlagen, das unterschwefligsaure Natron in der Analyse statt des Schwefelwasserstoffes häufiger anzuwenden und dasselbe auch als Material zur Entwickelung von Schwefelwasserstoffgas zu benutzen.

Die schweflige Säure (SO^2) wurde zuerst von Stahl als eigenthümlicher Körper erkannt; Priestley fing das Gas zuerst 1774 über Quecksilber auf. Berthollet, Fourcroy und Vauquelin, Gay-Lussac, Berzelius und Andere studirten dann die Säure und deren Verbindungen genauer. In der Natur kommt die schweflige Säure nur in einem sehr beschränkten Maßstabe vor; sie wird nur von einigen Vulkanen ausgehaucht. Die schweflige Säure ist bei gewöhnlicher Temperatur ein farbloses Gas; spec. Gewicht = 2,247. Der Geruch des Gases ist hinreichend bekannt; es greift die Respirationsorgane sehr stark an; in geringer Menge eingeschluckt ist es jedoch nicht gefährlich. Gegen den Reiz, welchen die Dämpfe der schwefligen Säure durch Afficirung unserer Respirationswerkzeuge hervorbringen, soll nach Hänle das Einathmen der Dämpfe von rauchender Salpetersäure das beste Mittel sein. Der Husten soll dann augenblicklich nachlassen. Die schweflige Säure entsteht, wie bekannt, stets, wenn Schwefel an der Luft verbrennt. Dargestellt wird sie auf verschiedene Weise, entweder durch Oxydation von Schwefel oder durch Desoxydation von Schwefelsäure. Erhitzt man z. B. 6 Th. Braunstein mit 1 Th. Schwefelblumen in einer Retorte, so oxydirt sich der Schwefel auf Kosten eines Theiles des Sauerstoffs in dem Braun-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVI. S. 237.

stein zu schwefliger Säure; oder man zersetzt concentrirte Schwefelsäure durch Kupfer oder Quecksilber; letztere vermögen nicht das Wasser zu zersetzen, sondern entziehen der Schwefelsäure einen Theil ihres Sauerstoffs, mit dem sie Oxyde bilden, während gasförmige schweflige Säure entweicht. Will man ganz reines Gas haben, so läßt man es durch ein wenig Wasser gehen, damit hier der übergerissene Schwefel und die Schwefelsäure zurückbleiben. Will man das Gas auffangen, so muß dies über Quecksilber geschehen, da es sich im Wasser auflöst.

Bei einer Temperatur von — 15° verdichtet sich das Gas zu einer Flüssigkeit. Mit Hülfe einer Kältemischung kann man daher sehr leicht, wenn man das Gas sorgfältig mittelst Chlorcalcium trocknet, flüssige schweflige Säure darstellen. Sie besitzt ein specifisches Gewicht von 1,42 bis 1,45 und siedet schon bei einer Temperatur von — 10°. Man kann sie daher nur in sehr starken, zugeschmolzenen Glasgefäßen aufbewahren. Bei der gewöhnlichen Temperatur verwandelt sich ein Theil der Flüssigkeit in Dampf, der stark gegen die Wandungen der Gefäße drückt, zugleich aber auch auf die schweflige Säure, wodurch diese eben im flüssigen Zustande erhalten bleibt. Bei 0° üben die Dämpfe einen Druck von 2 Atmosphären aus, bei + 10° steigert er sich über 3 und bei + 20° auf 6 Atmosphären. Bringt man die flüssige Säure an die Luft, so verdampft sie so rasch, daß dadurch bedeutende Kältegrade hervorgebracht werden können. Umhüllt man z. B. eine Thermometerkugel mit Baumwolle und tropft man darauf flüssige schweflige Säure, so gefriert das Quecksilber in der Thermometerröhre. Ein Weingeistthermometer fällt bis auf — 57° C. und wenn man die schweflige Säure unter der Luftpumpe verdampfen läßt, bis auf — 68° C. Man kann sich daher der schwefligen Säure bedienen, um andere Gase, wie z. B. Chlor, Ammoniak und Cyan, zu Flüssigkeiten zu verdichten. Gießt man die flüssige schweflige Säure in Wasser, so hört man ein starkes Zischen und wenn das Wasser nicht bedeutend warm ist, kann man es in Eis verwandeln. Unter der Glocke der Luftpumpe geht die Verdampfung der flüssigen Säure so rasch vor sich, daß ein Theil der Säure selbst fest wird.

Die gasförmige schweflige Säure röthet die Lackmustinctur sehr stark, doch nach und nach verschwindet diese Färbung fast gänzlich. Durch die Wärme allein kann die gasförmige schweflige Säure nicht zersetzt werden; sie entsteht ja während der Verbrennung des Schwefels bei einer sehr hohen Temperatur. Sauerstoff ist bei gewöhnlicher Temperatur, wenn beide trocken sind, gleichfalls ohne Wirkung darauf; leitet man aber beide durch ein erhitztes Rohr, in dem sich Platinschwamm befindet, so bildet sich wasserfreie Schwefelsäure. Wasserstoff und schweflige Säure wirken in der Kälte nicht auf einander; sobald man sie aber durch ein rothglühendes Porzellanrohr leitet, wird die schweflige Säure zersetzt. Es bildet sich Wasser und Schwefel scheidet sich ab. Schweflige Säure und Schwefelwasserstoff verhalten sich im trocknen Zustande indifferent gegen einander; die Lösungen aber zersetzen sich gegenseitig. Es bildet sich Wasser und Schwefel scheidet sich aus. Chlor und schweflige Säure üben im trocknen Zustande bei zerstreutem Licht keine Wirkung auf einander aus; bei intensivem Sonnenlichte aber vereinigen sich beide zu einer leicht beweglichen, farblosen Flüssigkeit ($SO^2 Cl$), die einen äußerst erstickenden Geruch besitzt. Durch Wasser wird diese Verbindung zersetzt; es bildet sich Schwefelsäure und Chlorwasserstoffsäure. Dasselbe geschieht, sobald beide Gase im feuchten Zustande mit einander in Berührung kommen. Die schweflige Säure

ist ein kräftig wirkendes Desoxydationsmittel, da sie denjenigen Verbindungen, in denen der Sauerstoff nicht sehr fest zurückgehalten wird, diesen sehr leicht entzieht. Sie fällt Jod, Selen und Tellur aus der Jodsäure, der selenig- und tellurigen Säure und Gold, Silber und Quecksilber aus deren Lösungen. Aus der Auflösung des mangansauren und übermangansauren Kalis scheidet sich Manganoxyd ab; aus einer Auflösung von Zinnchlorür fällt sie braunes Schwefelzinn. Die Arsensäure wird durch schweflige Säure in arsenige Säure verwandelt und selbst die Salpetersäure, so wie die salpetrige Säure und die Untersalpetersäure werden durch schweflige Säure desoxydirt. Bringt man Bleisuperoxyd mit schwefliger Säure zusammen, so entsteht schwefelsaures Bleioxyd. Das Bleisuperoxyd ist daher ein sehr gutes Mittel, um die schweflige Säure aus einem Gasgemisch zu entfernen.

Bei gewöhnlicher Temperatur absorbirt Wasser bis zu 44 Volumen schweflige Säure und Weingeist nimmt noch mehr davon auf. Leitet man schweflige Säure in Wasser, das bis unter 0° abgekühlt ist, so bilden sich Krystalle, die ein Hydrat der schwefligen Säure sind. Die Auflösung der schwefligen Säure in Wasser besitzt den Geruch des Gases und einen säuerlich schrumpfenden Geschmack. Bei der gewöhnlichen Temperatur entweicht fortdauernd ein Theil des Gases, und zwar je höher die Temperatur, um so stärker; jedoch ist ein lange anhaltendes Kochen erforderlich, um die letzten Antheile des Gases zu entfernen. Die Auflösung der schwefligen Säure in Wasser verändert sich durch die Einwirkung des Sauerstoffs der Luft sehr bald; es bildet sich Schwefelsäure. Es ist daher sehr schwierig, die wässerige schweflige Säure aufzubewahren und besonders sie vor einer Verunreinigung mit Schwefelsäure zu schützen. Aus diesem Grunde ist die schweflige Säure, sobald man sie, namentlich zu technischen Zwecken, gebrauchen will, stets frisch zu bereiten.

Zu technischen Zwecken kann man die schweflige Säure billiger darstellen. Man erhitzt in der Regel concentrirte Schwefelsäure mit Kohle, Sägespänen, Stroh ꝛc. Hierbei entwickelt sich zwar gleichzeitig eine beträchtliche Menge von Kohlensäure, doch wird diese in einem geringeren Grade vom Wasser zurückgehalten und ist diese Verunreinigung hier gar nicht von Belang. Oder man stellt die schweflige Säure auch dar durch Verbrennen von Schwefel.

Die Hauptanwendung der schwefligen Säure in der Technik ist durch die Eigenschaft begründet, daß sie viele gefärbte vegetabilische und mineralische Substanzen bleicht oder entfärbt. Entweder zersetzt die schweflige Säure die Farbestoffe, indem sie diesen den Sauerstoff entzieht, oder sie geht mit den Farbestoffen ungefärbte Verbindungen ein. Die letzteren werden durch stärkere Säuren zersetzt und dann tritt die frühere Farbe wieder hervor. Dies ist z. B. der Fall bei einer Rose; hat man sie durch schweflige Säure entfärbt, so tritt die Farbe wieder hervor, sobald man sie in verdünnte Schwefelsäure taucht. Einige Farbestoffe, wie z. B. Cochenilleroth, vermag die schweflige Säure gar nicht zu verändern; einige Farbestoffe werden nur heller; andere verschwinden zwar, aber mit der Zeit kommen sie wieder zum Vorschein. Da Chlor Wolle und Seide nicht zu entfärben vermag, so bleicht man diese Stoffe, so wie Elfenbein, Stroh, Holzwaaren, Schwämme ꝛc. durch schweflige Säure. Obgleich es gewiß ökonomischer ist, sich bei dieser Operation der Auflösung der schwefligen Säure zu bedienen, schwefelt man meistens, d. h. man schichtet die zu bleichenden feuchten Stoffe in eigenen Kammern von

ungefähr 9700 Cubikfuß Inhalt auf Gestellen auf, die bis ungefähr 1 Fuß vom Boden entfernt bleiben und deren einzelne Lagen bis zu 5 Zoll aus einander stehen. In die 4 Ecken der Kammer stellt man dann 4 oder 8 Gefäße, vertheilt in dieselben die nöthige Menge Schwefel, zündet diesen an und läßt ihn fortbrennen. — Mittelst der schwefligen Säure kann man auch Obst- und Weinflecke aus dem Tischzeuge entfernen.

Das Schwefeln der Weinfässer beruht darauf, daß die schweflige Säure begierig den Sauerstoff der Luft, die im Wein aufgelöst ist, an sich zieht und den Wein also vor der Einwirkung der Luft bewahrt. Aus dem gleichen Grunde wendet man die schweflige Säure bei verschiedenen Substanzen an, die leicht in Fäulniß übergehen. So verhindert man dadurch z. B. die Gährung des Dextrinsyrup. In der Stärkmehlfabrikation bewirkt man durch die schweflige Säure die Absetzung und Bleichung des Stärkmehls. Melsens erwartete vor mehreren Jahren von der Anwendung der schwefligen Säure bedeutende Vortheile für die Runkelrübenzuckerfabrikation; doch haben sich diese Hoffnungen nicht verwirklicht.

Braconnot hat, auf eine Reihe von Versuchen gestützt *), das Schwefeln grüner Gemüse, als Sauerampfer, Lattig, Endivie, Spargel ꝛc. zum Behufe ihrer Aufbewahrung angelegentlich empfohlen. Die schweflige Säure, welche beim Verbrennen des Schwefels entsteht, besitzt die unter den Säuren seltene Eigenschaft, mit der festen vegetabilischen Substanz, ähnlich wie die Gerbsäure mit der thierischen Haut, eine chemische Verbindung einzugehen, wodurch sie die Fähigkeit einbüßt, in Gährung und Fäulniß überzugehen. Die aromatischen und ernährenden Bestandtheile der Pflanzen erleiden dadurch keinerlei Veränderung. Dagegen verliert die feste Substanz das Vermögen, das in denselben aufgesaugte Wasser (Vegetationswasser) zurückzuhalten; bei saftreichen Gemüsen tritt nach dem Schwefeln die merkwürdige Erscheinung ein, daß das Wasser derselben förmlich ausfließt. Verfährt man bei dem Schwefeln mit der gehörigen Mäßigung, so ist dieses Verfahren ohne das mindeste Bedenken zulässig; man hat ja noch nicht gehört, daß der Genuß von geschwefeltem Wein schädliche Folgen bewirkt hat. Für die Aufbewahrung des Hopfens ist das Schwefeln von der größten Wichtigkeit. Man kann den Hopfen nicht wie das Korn aufspeichern und für ungünstige Jahre aufbewahren, denn sehr bald ist er verdorben. Vor allem ist ein Theil des flüchtigen Oeles, das mit dem Valerol identisch zu sein scheint, die Ursache des Verderbens. Es verwandelt sich nämlich nach und nach durch Sauerstoffaufnahme in Baldriansäure oder auch in höhere Glieder der Reihe der flüchtigen fetten Säuren und diese sind es, welche dem alten Hopfen den eigenthümlichen Geruch nach faulem Käse ertheilen, durch welchen der Händler und Consument den alten Hopfen erkennen. Außerdem unterliegt der Hopfen durch den Einfluß des Sauerstoffes der Luft einer Veränderung, die allen organischen Substanzen gemeinsam ist und die sich durch eine dunklere Färbung kund giebt. Das Schwefeln hilft diesem Uebelstande gründlich ab; auf 1 Centner Hopfen verbraucht man in der Regel 1 bis 2 Pfd. Schwefel. Nach dem Schwefeln läßt sich die Entfernung des Wassers aus dem Hopfen auf die rascheste und beste Weise durch Verdunsten, sei es an der Luft oder durch Darren, bewirken und damit eine später und dauernd wirkende Ursache der Verderbniß des Hopfens beseitigen. Obgleich dies Verfahren durchaus

*) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XXIV. S. 104.

nach allen Seiten hin von der Wissenschaft gerechtfertigt wird, bezeichnet man in verschiedenen Ländern das Schwefeln des Hopfens als betrügerisch und es ist dort, so namentlich in Bayern, wo der Hopfen eine der wichtigsten Kulturpflanzen ist, bei Strafe verboten, während England und Nordamerika, die ihren Hopfen meistens aus Deutschland beziehen, geradezu geschwefelten Hopfen verlangen. Um diesen befremdenden Zwiespalt zu lösen, haben sich jüngst die Nürnberger Hopfenhändler an Liebig gewendet *), um durch diesen eine Aufhebung des Verbotes zu erlangen. Ein solches läßt sich um so weniger rechtfertigen, als keine Regierung das Schwefeln des Weines als strafbar ansieht. Würde das Schwefeln des Weines mit einem ähnlichen Interdict belegt, so würde es wohl sehr bald mit dem Weinhandel ganz aus sein.

In Frankreich wendet man mit sehr glücklichem Erfolge Bäder von gasförmiger schwefliger Säure bei Hautkrankheiten und besonders bei der Krätze an. Der Kopf des Kranken befindet sich hierbei in frischer Luft, während die kranken Theile mit gasförmiger schwefliger Säure umgeben sind. — Despretz empfiehlt die schweflige Säure zur Vertilgung der Wanzen. Man zündet in den zu reinigenden Zimmern Schwefel an und füllt diese so in 24 Stunden 2 Mal mit schwefliger Säure; dann entwickelt man Ammoniakgas aus Kalk und Salmiak, um die in die Spalten der Wände eingedrungene schweflige Säure zu sättigen. Auf diese Art sollen nicht allein die Wanzen, sondern auch deren Eier getödtet und so das lästige Ungeziefer völlig beseitigt werden.

Die schweflige Säure ist nur eine schwache Säure und deshalb werden ihre Salze durch die meisten Säuren zerlegt; die schweflige Säure wird dann unter Aufbrausen ausgetrieben. Die Kohlensäure wird indessen aus ihren Salzen durch die schweflige Säure entfernt. Die Salze der schwefligen Säure sind meistens denen der Kohlensäure analog zusammengesetzt. Die neutralen Salze der ersteren sind geruchlos, die sauren besitzen dagegen deutlich den Geruch der Säure. Die Alkalisalze sind leicht löslich; sie bilden den Ausgangspunkt für die unlöslichen oder schwerlöslichen Salze, indem die Lösungen der ersteren durch auflösliche Salze anderer Basen zersetzt werden. Die Alkalisalze werden bereitet, indem man in die Auflösung der kohlensauren Alkalien schweflige Säure leitet, bis die Kohlensäure vollständig ausgetrieben ist.

Die Schwefelsäure (SO^3) ist die höchste und die wichtigste Oxydationsstufe der Schwefelsäure. Im freien Zustande kommt sie nur an wenigen Orten in der Natur vor, in der Nähe von Vulkanen, und entsteht sie durch Oxydation der schwefligen Säure. Namentlich in Südamerika finden sich einige Flüsse, die freie Schwefelsäure enthalten; so z. B. der Essigfluß — Rio Vinagre, der am Vulkan Pusace in den Anden entspringt. Obgleich in 1000 Th. Wasser nur 1,11 Th. Schwefelsäure und 0,91 Th. Salzsäure enthalten sind, so führt dieser Strom dennoch, nach Boussingault's Berechnung, jährlich 300,000 Ctr. Schwefelsäure — das ist der vierte Theil der Production in Frankreich — und 240,000 Ctr. Salzsäure in's Meer. Eine andere saure Quelle entdeckte Degenhardt in einer Höhe von über 12,100 Fuß am Paramo de Ruiz in Neugranada. Das Wasser besitzt eine Temperatur von 69°,4 und enthält nach Lewy 5,18 Proc. freie

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 224.

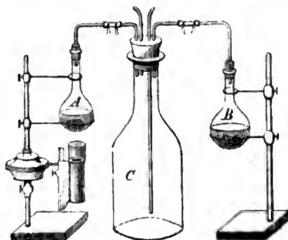
Schwefelsäure. Auch in Nordamerika hat man eine saure Quelle entdeckt (Oak Orchard Acid Spring Water in Alabama). Das Wasser ist klar, macht aber die Zähne stumpf. Es enthält nach Erni und Craw in 1000 Th. 2 Th. Schwefelsäure. Die Sourspring in der Grafschaft Tennessee enthalten so viel freie Schwefelsäure, daß sie vegetabilische Stoffe verkohlen und so eine 4 bis 5 Zoll dicke Kruste gebildet haben. In der Nähe findet sich eine andere Quelle, deren Wasser die Milch gerinnen macht. Auf Java giebt es mehrere Seen, die freie Schwefelsäure enthalten. Nach Harleß (die Heilquellen und Kurbäder Italiens 1848) findet sich freie Schwefelsäure nicht selten in italienischen Quellen; außer Italien jedoch nur sehr selten An Orten, wo große Massen von Steinkohlen verbraucht werden, enthält die Luft Schwefelsäure; sie entsteht nach und nach aus der schwefligen Säure, die sich beim Verbrennen schwefelhaltiger Steinkohlen bildet. Von den großen Städten aus verbreitet sich diese Verunreinigung der Luft sehr weit und dadurch werden manche Uebelstände, wie z. B. das Verschießen der Farben, das Rosten der Metalle rc. bedingt. Durch den Regen wird die Luft gereinigt; er führt die Schwefelsäure dem Boden zu und hier verbindet sie sich mit Basen. Nach Smith schmeckt das Regenwasser in Manchester deutlich sauer, wenn man es durch Abdampfen concentrirt. 1851 und 1852 fand derselbe in 1 Gallon = 3,97 Quart Regenwasser im Mittel gegen 0,0455 Grm. Schwefelsäure; also in einem Orhoft Regenwasser 2,063 Grm. oder 0,141 Lth. Schwefelsäure. — Mit Basen verbunden, kommt die Schwefelsäure in großen Mengen in der Natur vor.

Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Schwefelsäure schon den älteren Chemikern bekannt war; die erste ausführliche Vorschrift zur Darstellung derselben aus Eisenvitriol stammt aus dem 15. Jahrhundert. Sie rührt von Basilius Valentinus her, der sie in seiner „Offenbahrung der verborgenen Handgriffe" veröffentlichte. Die fabrikmäßige Bereitung der Schwefelsäure aus Eisenvitriol beschrieb zuerst Bernhardt in seinen „chymischen Versuchen und Erfahrungen" (1755). In Frankreich scheint man die Schwefelsäure zuerst aus dem Schwefel bereitet zu haben; man verbrannte diesen unter feuchten Glasglocken. Hierbei bildete sich langsam aus der schwefligen Säure Schwefelsäure. Lefebre und Lemery gaben zu Anfange des vorigen Jahrhunderts den Rath, dem Schwefel Salpeter beizufügen, um die Verbrennung zu erleichtern. Die erste Schwefelsäurefabrik dieser Art sollen zwei französische Chemiker in Richmond bei London angelegt haben; man operirte mit gläsernen Ballons von circa 250 Quart Inhalt und die Mischung von Schwefel und Salpeter wurde in eisernen Löffeln verbrannt. Nach Anderen soll die Anlage der Fabrik durch den Holländer Drebbel ausgeführt sein, der bereits 1634 in London starb. Und wieder Andere nennen einen Dr. Ward als den Gründer dieses Fabrikationszweiges. In England ersetzte man zuerst die gläsernen Ballons durch Kammern, die innen mit Blei ausgeschlagen waren, und die Löffel durch einen Kessel von Eisenblech, der mittelst eines Wagens auf einer Eisenbahn in die Mitte der Kammer geschoben wurde. Diese Veränderung soll zuerst ein Dr. Roebuck, und zwar 1746 zu Birmingham getroffen haben. Die erste Bleikammer in Frankreich wurde 1774 durch Holker zu Rouen ausgeführt. Die künstliche Bereitung der Soda wurde im Laufe unseres Jahrhunderts für die Schwefelsäurefabrikation von der größten Wichtigkeit; der ungeheuer steigende Verbrauch der Säure führte nicht allein eine entsprechende Vermehrung der Fabriken, sondern auch wichtige Verbesserungen in der Fabrikation herbei. Den Anstoß

zu diesen wichtigen Verbesserungen gaben zuerst (seit 1806) die französischen Chemiker Clément und Desormes. So hat denn die Darstellung der Schwefelsäure aus Schwefel die ältere Bereitungsmethode aus Eisenvitriol weit überflügelt; die sogenannte englische Schwefelsäure wird in ungleich größeren Massen verbraucht als die sogenannte Nordhäuser Schwefelsäure, und deshalb betrachten wir jene zuerst.

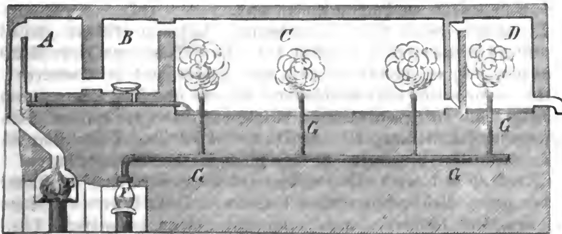
Die Anwendung des Salpeters oder der Salpetersäure bei der Schwefelsäurefabrikation dient nur dazu, die Oxydation der schwefligen Säure einzuleiten. Zunächst entzieht die schweflige Säure allerdings der Salpetersäure den Sauerstoff, dessen sie bedarf, um sich in Schwefelsäure zu verwandeln. Die Salpetersäure wird dadurch zu Stickstoffoxyd (NO^2) reducirt und dieses Gas hat die Eigenschaft, Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen und sich in salpetrige Säure (NO^3) zu verwandeln. Letztere ist wieder leicht zersetzbar; sie gibt das 1 Aeq. Sauerstoff an die schweflige Säure ab und verwandelt diese dadurch in Schwefelsäure, während das Stickstoffoxyd wiederum Sauerstoff aufnimmt, um diesen an die schweflige Säure abzugeben. So ist es also nicht die Salpetersäure, welche den zur Oxydation der schwefligen Säure nöthigen Sauerstoff liefert, sondern die atmosphärische Luft; wenigstens liefert letztere mehr als $^9/_{10}$ davon. Hiernach würde also ein Minimum von Salpetersäure ausreichen, um jede beliebige Menge von schwefliger Säure in Schwefelsäure zu verwandeln; doch läßt sich dies in der Praxis nicht gut erreichen. Ist nämlich ein großer Ueberschuß von schwefliger Säure vorhanden, dagegen nur wenig Sauerstoff (Luft), so giebt das Stickstoffoxyd selbst Sauerstoff an die schweflige Säure ab und geht damit für den Fabrikanten vollständig verloren, denn das durch die Sauerstoffabgabe entstehende Stickstoffoxydul hat nicht mehr die Fähigkeit, Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen oder die Uebertragung desselben an die schweflige Säure zu vermitteln. Eine Hauptbedingung ist daher, daß stets ein bedeutender Ueberschuß von Luft vorhanden sei. Auch das Wasser spielt bei diesem Proceß eine große Rolle. Ist es nicht in genügendem Maße vorhanden, so geht die Schwefelsäure mit der salpetrigen Säure oder dem Stickstoffoxyd eine krystallinische Verbindung ein, wodurch begreiflicher Weise Verluste entstehen. Durch einen Ueberschuß von Wasser werden diese Verbindungen zerlegt und die salpetrige Säure oder das Stickstoffoxyd dadurch wieder in Thätigkeit versetzt. Die letztere Einwirkung geschieht durch Wasserdampf besser als durch Wasser, weshalb ersterer auch allgemein bei der Schwefelsäurefabrikation verwendet wird.

Ueber alle diese Vorgänge kann man sich durch einen kleinen Versuch Belehrung verschaffen. Man entwickelt in einem kleinen Apparate A (s. beistehende Figur) schweflige Säure durch Erhitzen von Kupfer und concentrirter Schwefelsäure. Man leitet die schweflige Säure in eine große Flasche C, auf deren Boden sich warmes Wasser befindet. Sobald die Flasche mit schwefliger Säure gesättigt ist, läßt man Stickstoffoxydgas, das man in dem Kolben B aus Kupfer und Salpetersäure entwickelt, hinzutreten und sofort sieht man die rothen Dämpfe der salpetrigen Säure



auftreten. Sorgt man dafür, daß stets hinreichend Luft vorhanden ist, so kann man hier mit einer geringen Menge Stickstoffoxydgas eine ziemliche Quantität Schwefelsäure bereiten. Bringt man das Wasser nicht in die große Flasche, sondern läßt man Wasserdampf aus einem dritten kleinen Kolben in dieselbe eintreten, so kann man auch leicht, indem man die Zufuhr hemmt, die besprochene krystallinische Verbindung der Schwefelsäure erzeugen und damit die Wände der ganzen Flasche überziehen. Läßt man dann wieder Wasserdampf in hinreichender Menge hinzu, so beobachtet man deutlich die Zerlegung der Verbindung und das Entweichen der salpetrigen Säure und des Stickstoffoxydgases.

Im Großen bereitet man die schweflige Säure durch Verbrennen des Schwefels bei Gegenwart von Luft oder auch durch Rösten von Schwefelkies. Das Stickstoffoxydgas wird immer durch Zersetzung von Salpetersäure erhalten; früher mischte man dem Schwefel etwa 4 Proc. Salpeter bei oder man ließ Salpetersäure auf Zucker einwirken, wobei man als Nebenproduct Oxalsäure gewann. Jetzt wendet man allgemein Salpetersäure an, über welche die gasförmige schweflige Säure ihren Weg nimmt. Durch beistehende Skizze wird die fabrikmäßige Darstellung der Schwefelsäure anschaulich gemacht. Bei E wird der Schwefel verbrannt; die gasförmige schweflige Säure tritt zunächst in die Kammer A und dann



in die zweite (B), in welcher flache Gefäße mit concentrirter Salpetersäure aufgestellt sind. Um dem schwefligsauren Gase viele Berührungspunkte mit der Salpetersäure darzubieten, läßt man die Salpetersäure auch, entweder fortwährend oder mit Unterbrechungen, über ein staffelförmiges Gestelle von Steingut fließen. Bei F ist ein Dampfkessel aufgestellt, der durch die Leitung G den nöthigen Wasserdampf in die Kammern sendet. Die schweflige Säure entzieht nun zunächst der Salpetersäure Sauerstoff; es entstehen also Schwefelsäure und Untersalpetersäure ($NO^5, HO + SO^2 = NO^4 + SO^3, HO$). Die Untersalpetersäure zerfällt durch die Einwirkung des Wassers in Salpetersäure und salpetrige Säure ($2\,NO^4 + HO = NO^5, HO + NO^3$) und die letztere wiederum bei längerer Einwirkung des Wassers in Salpetersäure und Stickstoffoxyd ($3\,NO^3 + HO = NO^5, HO + 2\,NO^2$). Die während dieses Vorgangs entstandene Salpetersäure und die durch Aufnahme von Sauerstoff aus dem Stickstoffoxyd entstehende salpetrige Säure wirken von Neuem unter Mitwirkung von Wasserdampf auf die schweflige Säure ein, so daß der Proceß in Folge fortdauernder Zersetzung und Neubildung der Salpetersäure ununterbrochen fortdauert, so lange Luft und Wasserdampf vorhanden sind.

Die eigentliche Schwefelsäurebildung geht in der Kammer C vor sich. Der Boden derselben ist mit verdünnter Schwefelsäure bedeckt, damit die Bleiplatten durch die Salpetersäure nicht angegriffen werden. Die in allen Kammern gebildete Schwefelsäure läuft in C, die tiefer liegt, zusammen. Während der ganzen Operation muß für einen gehörigen Luftzug gesorgt werden, damit nie Mangel an Luft, da letztere mit zu den Hauptbedingungen bei der Schwefelsäurebildung gehört, eintrete. Die des Sauerstoffs beraubte Luft entweicht aus einem Kamin, wodurch ein Theil des Stickstoffoxyds und der Untersalpetersäure verloren geht. Um diesen Verlust zu vermeiden, hat Gay-Lussac vorgeschlagen, die entweichende Luft mit concentrirter Schwefelsäure in Berührung zu bringen und dadurch die Stickstoffverbindungen absorbiren zu lassen. Um dies zu erreichen, läßt man die verbrauchte Luft ihren Weg durch aufgeschichtete Koks nehmen, über welche fortdauernd Schwefelsäure fließt. Durch die Vertheilung in der schwammigen Masse bietet die Säure den durchziehenden Gasen eine sehr große Berührungsfläche. Ist die Schwefelsäure hinreichend mit den Stickstoffverbindungen gesättigt, so kann sie wieder in den Bleikammern benutzt werden, da Wasser die Stickstoffverbindungen austreibt und wieder in Thätigkeit versetzt. — Kuhlmann hat zum gleichen Zweck in seiner Fabrik zu Saint-Roch-les-Amiens mit den Bleikammern ein System von steinzeugenen Flaschen in Verbindung gebracht, in welchen die Salpetersäure an Baryt gebunden wird.

Die Säure, welche sich in C ansammelt, läßt man abfließen, sobald sie ein specifisches Gewicht von 1,5 erreicht hat. Eine Säure von dieser Stärke ist am wenigsten geeignet, schweflige Säure oder Stickstoffoxyd zu absorbiren. Ist sie stärker, so nimmt sie leicht Stickstoffoxyd auf und schweflige Säure, wenn sie schwächer ist. Für viele Zwecke läßt sich diese Schwefelsäure von geringerer Stärke, die sogenannte Kammersäure, die ungefähr 66 bis 70 Proc. Schwefelsäurehydrat enthält, unmittelbar verwenden; so namentlich für die Sodafabrikation. Für andere Zwecke ist sie dagegen nicht brauchbar und dann würde auch der Transport durch den großen Wassergehalt vertheuert werden. Deshalb wird die Schwefelsäure, wenigstens theilweise, mehr concentrirt, indem der größere Theil des Wassers durch Abdampfen entfernt wird. Man erhitzt die Schwefelsäure zuerst in einer geschlossenen Bleipfanne und leitet schweflige Säure hinein, um die Schwefelsäure von der Untersalpetersäure und Salpetersäure, die sie enthält, zu reinigen. Kommen letztere mit der schwefligen Säure in Berührung, so bildet sich Schwefelsäure, Stickstoffoxyd und Untersalpetersäure; die beiden letzteren werden wieder in die Kammern zurückgeleitet. Ist die verdünnte Schwefelsäure auf diese Weise gereinigt, so fließt sie durch ein heberförmiges Rohr in eine zweite, offene, bleierne Pfanne und wird hier stärker erhitzt, bis sie ein spec. Gewicht von 1,75 erlangt hat. Die Säure enthält nun 84 Proc. Schwefelsäurehydrat und kocht bei 200° bis 210°. Eine weitere Concentration kann man in der Bleipfanne nicht bewirken, da die Temperatur der siedenden Flüssigkeit nun sehr rasch steigt und das Blei sehr bald angegriffen wird.

Man läßt daher die Säure nun durch einen Heber in eine Platinblase fließen und setzt hier die Concentration weiter fort. So lange die Säure unter 200° kocht, geht nur Wasser fort; liegt aber der Kochpunkt höher, so geht gleichzeitig auch Schwefelsäure fort und zwar um so mehr, je höher die Temperatur steigt. Die aus der Blase entweichenden Dämpfe werden daher durch einen Kühlapparat

verdichtet und aufgefangen, um in die Kammern zurückgeliefert zu werden. Bei einer Temperatur von 325° geht reines Schwefelsäurehydrat über; aber so weit treibt man die Concentration nur sehr selten. Gewöhnlich wird die Destillation unterbrochen, sobald die übergehende Flüssigkeit eine Dichte von 45° B. zeigt. Die Säure wird nun heiß mittelst eines Hebers aus Platin abgelassen und zwar direct in die zur Aufbewahrung und Versendung bestimmten Ballons, da sich die Säure auf dem Wege zu denselben hinreichend abkühlt. Um hierbei den Arbeiter zu benachrichtigen, wenn er den Hahn des Hebers zu schließen, also den Zufluß der Säure zu unterbrechen habe, ist in dem Halse des Ballons ein Schwimmer von Glas oder Platin angebracht, der sich hebt, sobald die Säure $1^1/_2$ bis 2 Zoll unterhalb des Halses steht.

Früher bewirkte man diese letzte Concentration der Schwefelsäure allgemein in Glasretorten. In der Nähe von Glasfabriken, wo die Retorten sehr billig sind, werden sie zum Theil noch benutzt, da eine Platinretorte mit Zubehör circa 21 bis 26,000 Thlr. kostet. Wegen der großen Kostbarkeit muß man diesen Apparat sehr sorgfältig behandeln; vor allem muß man darauf sehen, daß die Schwefelsäure kein Chlor oder andere Verunreinigungen enthalte, durch die das Platin angegriffen wird.

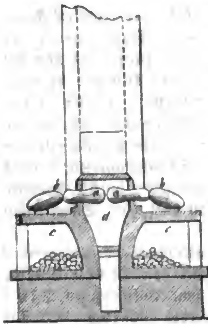
Während man früher häufig nur eine Kammer von bedeutender Größe verwendete, zieht man heute mehrere kleinere, die mit einander in Verbindung stehen, vor. Die Schwefelmenge, die verbrannt wird, also die Production überhaupt richtet sich eben nach dem Cubikinhalt, also der Größe der Kammern; diese wechselt von 10,000 bis über 100,000 Cubikfuß. Ein System von 5 Kammern, die zusammen 90,500 Cubikfuß fassen, liefert in 24 Stunden ungefähr 200 Ctr. Schwefelsäure und dazu sind $64^1/_2$ Ctr. Schwefel erforderlich. Früher erhielt man mit 100 Pfd. Schwefel nur 150 bis höchstens 200 Pfd. concentrirte Säure; durch die im Laufe der Zeit eingeführten Verbesserungen brachte man es auf 250 Pfd. und jetzt gewinnt man allgemein 310 Pfd. Diese entsprechen 288 Pfd. Schwefelsäurehydrat, von dem der Theorie nach 306 Pfd. aus 100 Pfd. resultiren müssen. Es findet also ein Verlust von 6 Proc. Schwefel statt, der sich noch bedeutend verringert, da der Schwefel nie ganz rein ist. Man nähert sich also den theoretischen Anforderungen sehr bedeutend, da man es in einigen Fabriken bis auf 298 Pfd. Schwefelsäurehydrat bringt. Die größte Schwefelsäurefabrik, welche existirt, ist die von Tennant zu St. Rollox bei Glasgow; in 20 Kammern von 388,150 Cubikfuß Inhalt werden jährlich 160,000 Ctr. Schwefelsäure fabricirt.

Ueber die neueste Construction einer ziemlich bedeutenden Schwefelsäurefabrik, die allen Anforderungen entspricht und bei einem Inhalt von 72,000 Cubikfuß jährlich 30,000 Ctr. Schwefelsäure fabricirt, erhält man Aufschluß in Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLII. S. 339. Hier werden stündlich 120 Pfd. Schwefel verbrannt und der Verlust an Salpetersäure ist so weit reducirt, daß nur 6 Proc. des Schwefels an Salpetersäure gebraucht werden.

Die jetzige Darstellungsmethode der Schwefelsäure hat trotz alledem manche Nachtheile; namentlich erfordert die Anlage große Kapitalien und häufige Reparaturen. Aus diesem Grunde sind vielfach Vorschläge zu anderen Darstellungsmethoden gemacht worden, doch sind diese bis jetzt noch nicht zur Ausführung gelangt. Neuerdings ist von Persoz ein neues Verfahren angegeben, durch welches

die Bleikammern ganz abgeschafft werden sollen *). Ferner haben Köhsel **) und Seckendorff ***) Vorschläge gemacht, die Schwefelsäure aus dem Gyps zu gewinnen. Nach Gautier ****) soll man die Schwefelsäure durch Einwirkung eines galvanischen Stromes auf die Mischung der schwefligen Säure darstellen. Favre *****) und Kopp †) haben Vorschläge gemacht, um die Abfälle bei der Sodabereitung zur Schwefelsäurefabrikation zu benutzen. Ferner hat Ramon de Lunu, Professor der Chemie an der Universität zu Madrid, interessante Versuche angestellt, um für die an mehreren Orten Spaniens, namentlich in der Provinz Toledo, in der Nähe von Madrid in reichlicher Menge vorkommende schwefelsaure Magnesia eine technische Verwendung zu finden, d. h. diese an Stelle der Schwefelsäure bei der Fabrikation der Salzsäure, des schwefelsauren Natrons, der Salpetersäure und des Chlors anzuwenden ††).

Die zweite Art der Schwefelsäure, die im Handel vorkommt, ist die sogenannte Nordhäuser oder rauchende Schwefelsäure. Sie wird aus dem Schwefelkies oder Schwefeleisen dargestellt. Nach dem Rösten werden die Kiese in Haufen der Luft ausgesetzt, damit sich das Schwefeleisen (FeS) durch Aufnahme von Sauerstoff in schwefelsaures Eisenoxydul verwandle. Dieses wird dann durch Wasser ausgezogen und durch Verdampfen der Lösung zum Krystallisiren gebracht. Dampft man die Mutterlauge zur Trockne ein, so gewinnt man ein Gemenge von schwefelsaurem Eisenoxydul und Eisenoxyd und dies ist das Material für die Schwefelsäurefabrikation. Zunächst wird dies Gemenge calcinirt, d. h. vom Wasser befreit, und dann in röhrenartigen thönernen Retorten erhitzt. Während das schwefelsaure Eisenoxyd bei einer gewissen Hitze zersetzt wird und die Schwefelsäure abgiebt, findet bei dem schwefelsauren Eisenoxydul gleichzeitig eine theilweise Zersetzung der Schwefelsäure statt, indem sich das Eisenoxydul auf Kosten der Schwefelsäure oxydirt und ein Theil derselben wird in schweflige Säure verwandelt ($2\,FeO, SO^3 = Fe^2O^3 + SO^3 + SO^2$). Je mehr Eisenoxyd also der Vitriol enthält, um so bessere Ausbeute erlangt man.



Nebenstehende Figur giebt eine Anschauung von der Destillation des Eisenvitriols. In cc wird der Eisenvitriol entwässert, d. h. getrocknet; aa sind die Retorten, deren Hälse in die Oeffnungen der Vorlagen hineinragen, und d, der Feuerraum oder Ofen, ist ein sogenannter Galeerenofen, in welchem die Retorten nicht allein in zwei Reihen neben einander, sondern oft auch noch dreifach über einander liegen, so daß in einem Ofen bis zu 120 oder 200 Retorten erhitzt werden. Jede

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIX. S. 427.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLII. S. 238.
***) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIX. S. 283.
****) Compt. rend. T. XXXVII. p. 177.
*****) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIX. S. 424.
†) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLII. S. 341.
††) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XCVI. S. 104.

Retorte wird mit $2^1/_2$ Pfd. des getrockneten Vitriols beschickt, die Ausbeute beläuft sich auf 45 bis 50 Proc. und die Destillation ist innerhalb 24 bis 36 Stunden beendet. Bei stark ausgetrocknetem Vitriol giebt man ein Paar Loth Wasser in die Vorlage, und enthält das Salz viel Wasser, so läßt man anfangs die Wasserdämpfe entweichen, bevor man die Vorlage anfügt. Von dem Wassergehalt des Vitriols hängt natürlich die Stärke der Säure ab. Der in den Retorten bleibende Rückstand besteht im Wesentlichen aus Eisenoxyd; er führt den Namen Caput mortuum oder Colcothar Vitrioli.

Da diese Säure einen ungleich höheren Preis besitzt als die englische Schwefelsäure, so sucht man sie noch auf andere Weise darzustellen. So thut man z. B. in die Vorlage englische Schwefelsäure und leitet in diese wasserfreie Schwefelsäure, indem man einen stark ausgetrockneten Vitriol zersetzt. Oder man mengt Eisenoxyd, den Rückstand bei dieser Destillation, mit englischer Schwefelsäure und zersetzt das so dargestellte schwefelsaure Salz auf die angegebene Weise. Jetzt stellt man die rauchende Schwefelsäure auch durch Destillation aus zweifach schwefelsaurem Natron dar. Das letztere geschieht namentlich in Frankreich, da hier 100 Pfd. dieser Säure mit 70 Franken bezahlt werden. In Nordhausen, von welcher Stadt die Säure benannt worden ist, wird sie jetzt nicht mehr fabricirt, sondern hauptsächlich in Böhmen und zwar 60,000 Ctr. jährlich. Vorzugsweise dient sie zum Auflösen von Indigo; die englische Säure löst davon nur halb so viel auf wie die rauchende Schwefelsäure. Da aber der bedeutende Ueberschuß an Säure oft bei den weiteren Operationen der Färberei störend wirkt, so verwendet man die englische Schwefelsäure hierzu nicht und bezahlt lieber die rauchende Schwefelsäure um mehr als doppelt so theuer, obgleich sie nur gleich der doppelten Menge der gewöhnlichen Schwefelsäure wirkt.

Die rauchende Schwefelsäure giebt das Material ab für die Darstellung der wasserfreien Schwefelsäure (SO^3). Erhitzt man erstere in einer Retorte nur mäßig, so entweicht daraus die wasserfreie Schwefelsäure, die man in einer trocknen Vorlage durch starkes Abkühlen, wo möglich mit Eis verdichtet. Die wasserfreie Schwefelsäure bildet eine weiße, krystallinische, undurchsichtige Masse, die große Aehnlichkeit mit dem Asbest hat. Sie läßt sich wie Wachs kneten. Das specifische Gewicht ist bei 20° C. = 1,97. Bei 25° schmilzt die Masse und bei einer wenig höheren Temperatur fängt sie an zu sieden. Sie zieht das Wasser mit sehr großer Begierde an sich, so daß sie sehr leicht zerfließt, wenn sie nicht in sehr gut verschlossenen Gefäßen aufbewahrt wird. Wirft man die feste Masse in Wasser, so hört man ein starkes Zischen. Umgekehrt darf man nicht Wasser auf die feste Säure tröpfeln, da unfehlbar ein Umherschleudern der Masse dabei stattfinden würde. Läßt man nur einen Tropfen Wasser in ein Glas tröpfeln, das wasserfreie Schwefelsäure enthält, so findet eine Lichterscheinung und Explosion statt. Die Dämpfe der wasserfreien Schwefelsäure sind farblos; treten sie aber an die Luft, so ziehen sie Wasserdampf an, bilden damit ein Hydrat und sind nun als dichte weiße Nebel sichtbar. In starker Rothglühhitze wird die wasserfreie Schwefelsäure in schweflige Säure und Sauerstoff zerlegt.

Die wasserfreie Schwefelsäure besitzt einen ätzendsauren Geschmack. Sie röthet indessen Lackmuspapier nicht, wenn keine Spur von Feuchtigkeit zugegen ist. Mit Schwefel zusammengebracht nimmt sie eine braune, grüne oder blaue Farbe an, wobei sich gleichzeitig schweflige Säure entwickelt. Mit Jod liefert sie eine

schön grün gefärbte Verbindung, die krystallisirt erhalten werden kann. Indigo löst sich in der wasserfreien Schwefelsäure mit einer prächtig purpurrothen Farbe auf, die sich in blau umändert, wenn man Wasser hinzuthut. Eine technische Verwendung hat die wasserfreie Schwefelsäure bis jetzt noch nicht gefunden.

Man kann auch wasserfreie Schwefelsäure bereiten durch Erhitzen des doppelt schwefelsauren Natrons. Dasselbe giebt die Hälfte der Säure bei einer Temperatur, in welcher die Schwefelsäure nicht zersetzt wird, ab. Man mischt 3 Th. wasserfreies schwefelsaures Natron mit 2 Th. concentrirter Schwefelsäure und erhitzt das Gemenge bis zur Rothglühhitze, wodurch das Wasser entfernt wird. Dann erhitzt man stärker und treibt die Hälfte der Säure im wasserfreien Zustande aus. Der Rückstand ist neutrales schwefelsaures Natron, das wieder mit Schwefelsäure gemischt werden und bis ins Unendliche zur Darstellung von wasserfreier Schwefelsäure dienen kann. — Desgleichen bildet sich diese Säure, wenn man schweflige Säure und Sauerstoff, beide vollständig getrocknet, durch ein rothglühendes Rohr leitet, in welchem sich fein zertheiltes Platin befindet.

Die Schwefelsäure geht wegen ihrer großen Verwandtschaft zum Wasser mit diesem sehr zahlreiche Verbindungen ein. Das Hemihydrat ($2\,SO^3 . HO$) erhält man, wenn man eine an wasserfreier Säure reiche Säure, nämlich die ersten Fractionen des Destillats von käuflicher rauchender Schwefelsäure, bei gewöhnlicher Temperatur erstarren und die flüssige Säure dann ablaufen läßt. Das Monohydrat ($SO^3 HO$) kann man sowohl aus der rauchenden Schwefelsäure wie auch aus der englischen erhalten. Hat man aus ersterer die wasserfreie Schwefelsäure ganz entfernt, so erhitzt man den Rückstand so lange, bis der Siedepunkt bei 326° constant bleibt. Aus der englischen Schwefelsäure kann man durch bloße Destillation das Monohydrat nicht erhalten. Scheidet sie nicht, wie die rauchende Schwefelsäure, diese Verbindung in Krystallen aus, wenn man sie der Winterkälte aussetzt, so kocht man sie erst einige Zeit, um einen Theil des Wassers daraus zu entfernen. Nun schießt auch hier in der Kälte das Monohydrat in regelmäßigen sechsseitigen tafelförmigen Säulen an. Dieses Hydrat ist eine farb- und geruchlose, dickflüssige Flüssigkeit, die bei gewöhnlicher Temperatur keine Dämpfe entwickelt. Dies tritt in einem geringen Grade erst bei 30 bis 40° ein. In der Kälte krystallisirt, wie gesagt, das Monohydrat, aber im reinen Zustande erst bei einer größeren Kälte. Specifisches Gewicht = 1,848. — Das Bihydrat ($SO^3 . 2\,HO$) erhält man, wenn man das Monohydrat mit der gehörigen Menge Wasser mischt oder wenn man die verdünnte Schwefelsäure bei einer Temperatur, die 200° nicht übersteigt, verdampft. Mitunter schießt diese Verbindung im Winter aus der englischen Schwefelsäure in großen Krystallen an, und zwar bei einer Temperatur, die noch über dem Gefrierpunkt des Wassers liegt. Bei + 8° schmelzen die Krystalle. Spec. Gew. 1,780. Das Bihydrat siedet bei 224° C., kann aber nicht unverändert destillirt werden. — Das Trihydrat ($SO^3 . 3\,HO$) erhält man entweder direct durch Mischung oder durch Verdampfen einer verdünnten Säure im luftleeren Raum bei einer Temperatur von 100°. Mischt man dem Monohydrat Wasser zu, so findet stets eine Verdichtung statt; bei dem Trihydrat ist diese am größten. Sie beträgt hier 8 Proc. Spec. Gew. = 1,632. — Außerdem giebt es noch Hydrate mit 4, 5 und 6 Aeq. Wasser. — Von allen Hydraten der Schwefelsäure kann nur das Monohydrat unverändert überdestilliren. Die anderen Hydrate geben alle Wasser

ab und nach und nach steigt die Temperatur bis auf 326°, bei der dann das Monohydrat überdestillirt.

Die Folge der Bildung dieser verschiedenen Hydrate ist die beträchtliche Temperaturerhöhung, die man wahrnimmt, wenn man die käufliche Schwefelsäure mit Wasser mischt. Gießt man zu 4 Th. concentrirter Schwefelsäure sehr schnell 1 Th. Wasser, so steigt die Temperatur bis auf 150°. Man muß daher beim Verdünnen der Schwefelsäure sehr vorsichtig verfahren, das Wasser darf man niemals in die Säure gießen, sondern nur umgekehrt die Säure in kleinen Portionen dem Wasser hinzuthun und jedes Mal muß man gut umrühren. Ueber die Wärmemengen, die sich bei der Bildung der verschiedenen Hydrate entwickeln, haben Heß *) und Graham **) ausführliche Untersuchungen angestellt.

Die concentrirte Schwefelsäure zieht das Wasser aus der Luft sehr begierig an, so daß sie, wenn man sie nicht in gut verstopften Gefäßen aufbewahrt, ihre Stärke mit der Zeit ganz verliert. Sie vermag das 15fache ihres Gewichtes Wasser anzuziehen. Dies ist der Grund, warum mit der Zeit die Mischung in den früher gebräuchlichen chemischen Feuerzeugen ganz naß wurde und dann die Schwefelhölzer ihren Dienst versagten. Aus dieser großen Begierde der Schwefelsäure das Wasser anzuziehen erklärt sich auch ihr Verhalten zu den organischen Körpern. Diese enthalten die Elemente des Wassers, Sauerstoff und Wasserstoff; es bildet sich, wenn Schwefelsäure auf organische Körper einwirkt. Die Schwärzung, die hier in der Regel eintritt, wird durch das Ausscheiden des Kohlenstoffs bewirkt. Daher darf man die Flaschen, in denen man Schwefelsäure aufbewahrt, nicht mit gewöhnlichen Korken verstopfen; diese werden zerstört und die Säure färbt sich. — Der Chemiker zieht von dieser Eigenschaft der concentrirten Schwefelsäure vielfachen Gewinn. Er bedient sich ihrer zum Entwässern (Austrocknen) vieler Substanzen, die sich bei Anwendung von Wärme zersetzen, im luftleeren Raum oder um Gase zu trocknen. — Wegen der großen Verwandtschaft der Schwefelsäure zum Wasser bringt sie Schnee und Eis sehr schnell zum Schmelzen. Da letztere bei ihrem Uebergange aus dem festen in den flüssigen Zustand eine bedeutende Menge Wärme absorbiren, so macht sich hierbei nicht wie bei dem Vermischen der Schwefelsäure mit Wasser Wärme bemerkbar, sondern eine bedeutende Kälte, — bei 4 Th. concentrirter Säure und 1 Th. Schnee oder zerstoßenem Eise selbst — 20°.

Die Schwefelsäure, wie sie im Handel vorkommt, kann man als bestimmte chemische Verbindungen nicht ansehen. Die rauchende Schwefelsäure ist ein veränderliches Gemenge von wasserfreier Schwefelsäure, dem Hemihydrat ($2\,SO^3 . HO$) und dem Monohydrat (SO^3, HO). Es ist gewöhnlich eine ölartige, höchst ätzende, saure Flüssigkeit von gelblicher oder brauner Farbe, die einen schwachen stechenden Geruch besitzt. An der Luft stößt sie weiße Nebel in reichlicher Menge aus, indem wasserfreie Schwefelsäure daraus entweicht und die Feuchtigkeit der Luft an sich zieht. In der Winterkälte scheiden sich daraus Krystalle ($2\,SO^3, HO$) ab. Die rauchende Schwefelsäure enthält meistens schweflige Säure, da sie nicht aus reinem schwefelsaurem Eisenoxyd dargestellt wird, sondern dieses stets auch Eisenoxydul enthält. Mit Wasser zusammengebracht entsteht eine weit größere Wärme als

*) Pogg. Ann. Bd. L. S. 391.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXX. S. 152.

bei der englischen Schwefelsäure. An dem hierbei auftretenden Zischen, so wie an den Dämpfen, die sie fortdauernd ausstößt, kann man jene sehr leicht von dieser unterscheiden. Das spec. Gew. der ersten ist ungefähr = 1,9.

Die englische Schwefelsäure kann man als das Monohydrat (SO^3, HO) ansehen, dem aber sehr verschiedene Mengen Wasser beigemischt sind, daher ist auch das specifische Gewicht derselben sehr verschieden. Bei 1,82 bis 1,83 enthält sie z. B. 75 Proc. wasserfreie Säure und dann ist ihre Zusammensetzung = 3 HO + 2 SO^3, also ein Sesquihydrat. Sie stellt eine farb- und geruchlose, ölartige, ätzende und saure Flüssigkeit dar.

Bei verschiedenen Operationen ist es von Wichtigkeit den Wassergehalt der käuflichen Schwefelsäure genau zu kennen. Aufschluß darüber giebt das specifische Gewicht. Gewöhnlich bedient man sich in der Technik zu diesen Versuchen des Baumé'schen Aräometers. In der nachstehenden Tabelle geben wir das Verhältniß zwischen den Graden dieses Aräometers, dem specifischen Gewicht, dem Gehalt an Schwefelsäurehydrat und dem an wasserfreier Schwefelsäure bei 15° C.

Baumé	Spec. Gew.	SO^3 + HO	SO^3
66°	1,84	100	81,54
63°	1,77	83,9	68,41
60°	1,77	78	63,60
55°	1,66	70	57,08
50°	1,53	62,6	51,04
45°	1,45	55,4	45,17
40°	1,38	48,4	39,47
35°	1,32	41,6	33,92
30°	1,26	34,8	28,38
25°	1,21	28,3	23,08
20°	1,16	22,4	18,26
15°	1,11	16,3	13,29
10°	1,07	10,9	8,89
5°	1,04	5,4	4,40.

Die Schwefelsäure des Handels enthält stets mancherlei Verunreinigungen, die bei der Verwendung oft Nachtheile herbeiführen. Darum ist es wichtig, diese Verunreinigungen zu kennen und die Mittel, durch welche die Gegenwart jener nachgewiesen wird. Die Hauptverunreinigungen sind: Salpetersäure und schwefelsaures Stickstoffoxyd, schwefelsaures Bleioxyd aus den Bleikammern und Bleipfannen, arsenige Säure aus dem Schwefel und den Kiesen, Kali und Eisenoxyd, mechanisch aus dem Salpeter und den Kiesen mit übergerissen, Selen aus dem Schwefel und den Kiesen, schweflige Säure, so wie Salzsäure aus dem Salpeter herrührend. Die Salpetersäure und das schwefelsaure Stickstoffoxyd wirken nachtheilig auf die Platinblase, in der die Säure concentrirt wird; außerdem bei der Verwendung der Säure; so machen sie die Salzsäure, die mit einer solchen Schwefelsäure bereitet wird, chlorhaltig und dann zerstören sie beim Auflösen des Indigo einen Theil dieses Farbstoffes. Besonders das Arsen geht in viele Präparate mit über, die mittelst einer solchen Säure bereitet werden. Namentlich ist eine solche Säure bei der Wasserstoffentwickelung zu fürchten, da sich hier gleichzeitig Arsenwasserstoff bildet, der schon in kleinen Mengen eingeathmet sehr nachtheilig

wirkt. Desgleichen verunreinigt auch das schwefelsaure Bleioxyd die Präparate. Eine salzsäurehaltige Schwefelsäure macht die damit dargestellte Salpetersäure chlorhaltig.

Die Gegenwart der Salpetersäure und des schwefelsauren Stickstoffoxydes läßt sich auf verschiedene Art erkennen. Uebergießt man die concentrirte Säure vorsichtig mit einer concentrirten Auflösung von Eisenvitriol, so daß letztere eine besondere Schicht über der Säure bildet, so wird diese mehr oder weniger stark dunkelbraun gefärbt. Sind die genannten Verunreinigungen nur in sehr geringer Menge vorhanden, so entsteht wenigstens an der Berührungsfläche beider Schichten eine Färbung. In diesem Falle thut ein Krystall von Eisenvitriol auch gute Dienste, da in seiner Umgebung die Färbung deutlich auftritt. Nach Wittstock *) bringt selenige Säure dieselbe Reaction mit Eisenvitriol hervor wie die höheren Oxyde des Stickstoffs. Nach kurzer Zeit aber geht diese Färbung in Roth über und nach und nach setzt sich feinzertheiltes Selen zu Boden. Thut man zu der Säure einen Tropfen Indigolösung und erhitzt dann, so verschwindet die blaue Farbe, wenn Salpetersäure und Stickstoffoxyd vorhanden sind. Das schwefelsaure Stickstoffoxyd zersetzt sich, wenn man die Säure mit 6 Th. Wasser verdünnt. Erhitzt man dann bis zum Kochen, so entweicht Stickstoffoxyd. Entsteht dann noch in der Säure eine Reaction mit Eisenvitriol, so ist auch Salpetersäure zugegen. — Diese Verunreinigungen kann man sehr leicht entfernen, wenn man nach Pelouze die concentrirte Säure mit geringen Mengen ($^1/_{10}$ bis $^1/_2$ Proc.) schwefelsaurem Ammoniak erhitzt. Das Stickstoffoxyd zerfällt hierbei in Wasser und Stickstoffgas ($3\ NO^2,\ 2\ NH^3 = 6\ HO,\ 5\ N$). Oder man leitet, wie schon angegeben, schweflige Säure durch die verunreinigte Schwefelsäure. — Nach Löwe **) reinigt man die Schwefelsäure durch Erhitzen mit kleinen Mengen Oxalsäure. Diese zerfällt bei 110°, ohne die Säure zu schwärzen und ohne schweflige Säure zu erzeugen, wie dies Zucker oder Papier thun, in Kohlensäure und Kohlenoxydgas. Das letztere oxydirt sich auf Kosten der Stickstoffsäuren zu Kohlensäure, mit der gleichzeitig das Stickstoffoxyd entweicht.

Das schwefelsaure Bleioxyd scheidet sich beim Verdünnen der Säure mit Wasser aus. Man erkennt seine Gegenwart sehr leicht, wenn man einen oder zwei Tropfen Salzsäure in die concentrirte Säure fallen läßt. Ist sie bleihaltig, so entsteht an der Berührungsstelle beider Säuren sogleich eine weiße Wolke durch Chlorblei. — Das Selen giebt sich gleichfalls bei der Verdünnung mit Wasser zu erkennen, indem sich ein rothes Pulver ausscheidet. Die selenhaltige Säure, die früher besonders aus dem Harz in den Handel kam, scheint jetzt fast gar nicht mehr vorzukommen. Von der Verunreinigung mit arseniger Säure läßt sich dies noch nicht sagen und namentlich hierauf hat man sein Augenmerk zu richten. Cameron führt an, daß sich in Flaschen, die nur 8 Pfund concentrirte Schwefelsäure enthielten, in jeder fast eine Unze arsenige Säure in Krystallen ausgeschieden habe. Die Gegenwart der arsenigen Säure erkennt man an dem gelben Niederschlage von Schwefelarsen, der beim Durchleiten von Schwefelwasserstoff in der verdünnten Säure entsteht oder mittelst des Marsh'schen Apparates, wenn man das Wasserstoffgas anzündet und weißes Porzellan an die Flamme hält. Bei

*) Pogg. Ann. Bd. XCV. S. 483.
**) Chem. Centralbl. 1854. S. 807.

diesem Versuch muß aber die Säure frei sein von den Oxyden des Stickstoffs. Die Reinigung durch Schwefelwasserstoff ist sehr umständlich. Durch die von Löwe angegebene Methode erlangt man solches auf einem weit weniger umständlichen Wege. Man erhitzt die Säure in einer flachen Schale an einem Orte, worin guter Luftzug stattfindet, und trägt in dieselbe unter stetem Umrühren mit einem Glasstabe geringe Mengen feingeriebenen, trockenen Kochsalzes ein. Es entbinden sich sogleich starke Dämpfe von salzsaurem Gase, von denen sich ein Theil zu Wasser und Chlorarsen umsetzt. Das letztere ist schon bei einer geringen Temperatur flüchtig und entweicht daher sehr leicht. Doch muß die Säure concentrirt sein, denn in Berührung mit Wasser setzt sich das Chlorarsen wieder in arsenige Säure und Chlorwasserstoffsäure um. Man setzt das Erhitzen so lange fort, bis alle salzsauren Dämpfe ausgetrieben sind. Buchner schlägt gleichfalls vor *), die Flüchtigkeit des Chlorarsens zu benutzen, um aus arsenhaltiger Schwefelsäure das Arsen auszutreiben. Er leitet zu diesem Ende einen Strom von salzsaurem Gas durch die Säure und erhitzt dann. Das Verfahren von Löwe ist aber einfacher und zweckmäßiger. — In England hat man den Vorschlag gemacht, bei Verarbeitung arsenhaltiger Kiese die schweflige Säure vor dem Eintritt in die Bleikammern durch lange und kühlgehaltene Kanäle zu leiten, damit sich hier die arsenige Säure absetze.

Die Gegenwart der schwefligen Säure erkennt man bei Zusatz von einem Tropfen rother Manganoxydlösung an dem Verschwinden der Farbe. Durch anhaltendes Erhitzen geht die schweflige Säure fort. Salzsäure giebt sich in der verdünnten Säure bei Zusatz von salpetersaurem Silberoxyd durch einen weißen käsigen Niederschlag zu erkennen.

Zu chemischen Zwecken wird oft eine ganz reine Schwefelsäure erforderlich. Diese gewinnt man durch Destillation der käuflichen Säure. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, daß wohl die nicht flüchtigen Verunreinigungen in der Retorte zurückbleiben, aber nicht die flüchtigen. Letztere (die Oxyde des Stickstoffs, Chlor, arsenige Säure) müssen daher vor der Rectification auf die angegebene Weise entfernt werden. Die Rectification geschieht aus Glasretorten. Man muß aber sehr vorsichtig verfahren, wenn die Operation gelingen soll. Die Temperatur, bei der die Schwefelsäure destillirt, ist eine sehr hohe und durch die Ausscheidung von schwefelsaurem Eisen- und Bleioxyd wird beim Kochen ein Stoßen bewirkt; durch beide Ursachen kann die Retorte leicht zerstört werden. Das Stoßen wird vermieden, wenn man in die Retorte eine Spirale von Platindraht bringt. Die Hauptsache ist ferner, daß die Retorte bei der Anfertigung gut gekühlt sein muß und daß man sie während der Operation sorgfältig vor einer plötzlichen Abkühlung sichere. Dann ist es gut, das Feuer so zu leiten, daß die Verdampfung nicht von dem Boden, sondern von den Seitenwänden aus erfolgt. Beschlägt man die Retorte mit Lehm, so kann man die Destillation über freiem Feuer vornehmen und spart dann bedeutend an Feuermaterial.

Das zuerst Uebergehende (etwa $^1/_6$ oder $^1/_5$) wird entfernt, weil dies nur eine sehr schwache Säure ist. Je länger die Destillation andauert, je höher steigt der Siedepunkt und um so stärkere Säure geht über. Die reine rectificirte

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 241.

Schwefelsäure hat daher keine bestimmte Stärke; das specifische Gewicht ist meistens 1,82 bis 1,83. Sie muß farblos und geruchlos sein; sie darf beim Abdampfen in einem Platinschälchen keinen Rückstand hinterlassen und muß überhaupt frei von allen Verunreinigungen sein.

Die Schwefelsäure ist eine der stärksten Säuren, die man kennt. Sie röthet daher Lackmus, selbst wenn sie mit 1000 Th. Wasser und mehr verdünnt ist. Sie treibt bei gewöhnlicher Temperatur alle anderen Säuren aus ihren Verbindungen aus; dagegen wird die Schwefelsäure von einigen, und zwar bei gewöhnlicher Temperatur bedeutend schwächeren Säuren, wie z. B. der Phosphor- und Borsäure, in der Hitze ausgetrieben, weil diese hier weniger flüchtig sind als jene. Durch einige Nichtmetalle, wie Kohlenstoff, Phosphor xc., wird die Schwefelsäure in der Hitze zersetzt und in schweflige Säure verwandelt. Gegen die Metalle verhält sie sich verschieden; einige derselben, wie Kupfer, Quecksilber, Silber, zersetzen die concentrirte Säure theilweise zu schwefliger Säure, indem sie sich auf Kosten der Schwefelsäure oxydiren, während sich das entstandene Oxyd mit der unzersetzten Säure verbindet. Andere Metalle, wie z. B. Zink und Eisen, verhalten sich gegen die verdünnte Säure anders; sie zersetzen bei der Auflösung nicht die Säure, sondern das Wasser, wobei der Wasserstoff als Gas entweicht.

Daß die concentrirte Schwefelsäure sehr energisch und zerstörend auf organische Substanzen wirkt und den Grund, warum dies geschieht, haben wir schon erörtert. Man muß sich daher sehr vorsehen, wenn man mit dieser Säure operirt, da man sich leicht die Kleider damit zerstören kann. Eine verdünnte Säure wirkt weniger zerstörend und macht meistens nur rothe Flecke, die sehr leicht durch Aetzammoniakflüssigkeit entfernt werden können. — Schon eine kleine Menge der concentrirten Schwefelsäure in den menschlichen Organismus gebracht, wirkt sehr zerstörend; sie verursacht die gefährlichsten Zufälle, auf die fast stets der Tod folgt. Die concentrirte Schwefelsäure gehört daher zu den stärksten Giften. Selbst die verdünnte Schwefelsäure wirkt noch sehr heftig. Das beste Mittel bei Vergiftungen durch Schwefelsäure ist gebrannte Magnesia in wenig Wasser suspendirt. Auch kohlensaures Kali, in Wasser aufgelöst, wird empfohlen. Sind diese Mittel nicht zur Hand, so thun auch Seifenwasser oder laues eiweißhaltiges Wasser oder selbst kaltes Wasser in großen Mengen genossen gute Dienste; sie mildern die reizende Wirkung des Giftes und rufen Erbrechen hervor. In den meisten Fällen ist aber keine Rettung; doch auch hier dienen die genannten Mittel dazu, wenigstens die fürchterlichen Schmerzen zu lindern. Hat man sich äußerlich durch concentrirte Schwefelsäure verletzt, so bade man die Stellen fleißig mit kaltem Wasser.

Die Schwefelsäure hat zu den Basen die größte Verwandtschaft; sie bildet damit sehr zahlreiche Salze, die zu denen gehören, die am genauesten erforscht sind. Meistens sind sie in Wasser löslich; unlöslich ist schwefelsaurer Baryt und sehr schwerlöslich die Verbindungen mit Kalk, Strontian und Blei. In Alkohol dagegen sind die Salze sämmtlich unlöslich. In den neutralen Salzen verhält sich der Sauerstoff der Base zu dem der Säure wie 1 : 3. Einige Salze können in der Hitze nicht zersetzt werden, andere lassen die Schwefelsäure fahren und bei noch anderen wird die Schwefelsäure eines Theiles ihres Sauerstoffs beraubt und in schweflige Säure verwandelt. Glüht man die schwefelsauren Metalloxyde mit Kohle oder mit organischen Substanzen, so werden sie in Schwefelmetalle ver-

wandelt; letztere dagegen werden sehr leicht durch Oxydation, also Sauerstoffaufnahme, in schwefelsaure Salze übergeführt.

Die Schwefelsäure ist ohne Zweifel eine von denjenigen chemischen Verbindungen, die am meisten in der Technik verwendet werden. Die schwefelsauren Salze spielen eine sehr große Rolle in der Chemie, Medicin, der Landwirthschaft und in den verschiedensten Gewerben. Die Schwefelsäure selbst, namentlich die sogenannte englische, dient zur Darstellung einer großen Menge anderer Säuren; ferner zum Abbeizen des Schwarzbleches vor dem Verzinnen und Verzinken, zum Beizen von Kupfer und Messing, zum Weißsieden des Silbers, zur Scheidung des Silbers vom Golde, zur Darstellung von Aether, Wichse, Stärkezucker und Schießbaumwolle, zur Reinigung des Rüböles, beim Ausschmelzen der thierischen Fette und in der Gerberei zum Schwellen der Häute. Man bedient sich ihrer ferner bei den galvanischen Apparaten in der Telegraphie, bei der galvanischen Vergoldung und Versilberung und in der Galvanoplastik. Die Wirkung auf organische Körper hat man dazu benutzt, um Holz zu verkohlen, d. h. bei Pfählen, um diese im Boden gegen Fäulniß zu schützen. Für den Chemiker ist die Schwefelsäure ganz unentbehrlich; sie ist eines der wichtigsten Mittel für diesen.

Die übrigen Schwefelsäuren können wir mit wenigen Worten abthun. Die Dithionsäure (Unterschwefelsäure S^2O^5) bildet sich, wenn man schweflige Säure mit Manganhyperoxyd zusammenbringt ($2\,MnO^2, 3\,SO^2 = MnO, SO^3 + MnO, S^2O^5$). Die Lösung dieser beiden Salze versetzt man mit Aetzbaryt, wodurch man in der Lösung unterschwefelsauren Baryt erhält, der zum Krystallisiren gebracht werden kann und dann zur Darstellung des Unterschwefelsäurehydrats und der übrigen Salze dient. Das Hydrat ist sehr wenig beständig; beim Erhitzen zerfällt es in schweflige Säure und Schwefelsäure; bei gewöhnlicher Temperatur zieht es allmälig Sauerstoff an und verwandelt sich in Schwefelsäure. Die Salze sind beständiger.

Die Trithionsäure (geschwefelte Unterschwefelsäure, Schwefelunterschwefelsäure, Niederschwefelsäure S^3O^5) ist von Langlois entdeckt *). Sie entsteht, wenn eine Lösung von zweifach schwefligsaurem Kali mit Schwefelblumen digerirt wird: $3\,(KO, 2\,SO^2) + 2\,S = 2\,(KO, S^3O^5) + KO, SO^2$. Es scheiden sich hierbei Krystalle von trithionsaurem Kali ab, aus denen man die Säure durch Weinsäure, Kieselfluorwasserstoffsäure oder Ueberchlorsäure absondern kann. Das Hydrat dieser Säure ist wasserhell, schmeckt wenig sauer und etwas bitterlich und ist nur sehr wenig beständig. Schon bei gewöhnlicher Temperatur zerfällt es sehr bald in Schwefelsäure, schweflige Säure und Schwefel ($S^3O^5 = SO^3, SO^2$ und S).

Die Tetrathionsäure (zweifach geschwefelte Unterschwefelsäure, Tiefschwefelsäure S^4O^5) ist von Fordos und Gélis entdeckt werden. Sie bildet sich, wenn man eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron mit Jod sättigt ($2\,NaO, S^2O^2 + J = NaJ. + NaO, S^4O^5$). Aus dem Barytsalz kann man durch Schwefelsäure das Hydrat erhalten, eine wasserhelle, geruchlose, sehr saure Flüssigkeit, die sich beim Erwärmen zersetzt.

Die Pentathionsäure (dreifach geschwefelte Unterschwefelsäure S^5O^5) wurde von Wackenroder entdeckt. Sie entsteht durch die Einwirkung von schwefliger

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXVIII. S. 461.

Säure auf Schwefelwasserstoff: $5\,SO^2 + 5\,SH = 5\,HO + S^5O^5 + 5\,S$. Das Hydrat ist eine farb- und geruchlose, sauer und zugleich etwas bitter schmeckende Flüssigkeit, die über 80° erhitzt in Schwefelsäure, schweflige Säure und Schwefel zerfällt.

Von Verbindungen des Schwefels mit Wasserstoff sind zwei bekannt: der Wasserstoffschwefel (S^2H) und der Schwefelwasserstoff (SH).

Der Wasserstoffschwefel (Wasserstoffsupersulfid, hydrothionige Säure S^2H) entsteht, wenn man eine Lösung von zweifach Schwefelkalium in einem dünnen Strahle in Salzsäure gießt: $KS^2 + Cl\,H = K\,Cl + S^2\,H$. Es ist eine gelbliche, ölartige Flüssigkeit, die eigenthümlich widrig riecht, Nase und Augen reizt und bitterlich schmeckt. In seinen Eigenschaften besitzt der Wasserstoffschwefel einige Aehnlichkeit mit dem Wasserstoffsuperoxyd: auf der Haut erzeugt er einen weißen Fleck; durch Säuren erlangt er einen gewissen Grad von Beständigkeit, während Alkalien, so wie mehrere andere Körper (Kohlenpulver, die edlen Metalle und einige Oxyde) das Zerfallen in Schwefel und Schwefelwasserstoff begünstigen. Der Wasserstoffschwefel ist überhaupt eine sehr unbeständige Verbindung; sie zerfällt schon, wie angegeben, bei Berührung mit Wasser oder an der Luft und kann nur aufbewahrt werden, wenn man dieselbe mit ziemlich concentrirter Salzsäure versetzt hat. In Aether ist der Wasserstoffschwefel löslich, doch setzen sich aus der Auflösung bald Krystalle von Schwefel ab.

Schwefelwasserstoff (Schwefelwasserstoffsäure, Hydrothionsäure, Wasserstoffsulfid, hepatische Luft der Alten SH) findet sich in der Natur in einigen Mineralwässern, die unter dem Namen Schwefelwässer bekannt sind. Ueber die Entstehung dieser Schwefelquellen sind vielfache und höchst gezwungene Hypothesen aufgestellt worden, während sich die Sache doch einfach durch die Reduction schwefelsaurer Salze erklärt. Bei den Wässern, die in den oberen, an organischen Substanzen reichen Schichten verlaufen, unterliegt die Entstehung einer Schwefelverbindung keinen besonderen Schwierigkeiten. Anders ist es bei Thermen, welche aus einer großen Tiefe der Erde entsteigen und fast frei von schwefelsauren Salzen sind. Aber auch hier ist anzunehmen, daß auf dem Laufe des Wassers irgendwo eine Einwirkung von organischen Stoffen auf schwefelsaure Salze stattfindet, zumal erstere in dem zu Tage kommenden Wasser durch die Analyse nachgewiesen werden und namentlich die Wärme die Reduction der schwefelsauren Salze begünstigt, wie dies durch Vogel, Bischoff und Wöhler nachgewiesen ist. Wenn organische Substanzen mit schwefelsauren Salzen zusammen kommen, so werden letztere zersetzt; der Kohlenstoff bildet mit dem Sauerstoff aus dem Salze Kohlensäure und aus dem Salze entsteht ein Schwefelmetall, das wiederum durch die Einwirkung der Kohlensäure und des Wassers zersetzt wird, indem sich Schwefelwasserstoff und ein kohlensaures Salz bildet. In allen Schwefelquellen findet sich Kohlensäure und zwar überwiegend mehr als Schwefelwasserstoff. Die angeführte Erklärung wird dadurch noch wahrscheinlicher, daß sämmtliche Schwefelquellen nur äußerst geringe Mengen von Schwefelwasserstoff und Schwefelmetallen enthalten. Ein Wasser, in welchem 1 Cubikzoll = 0,42 Gran Schwefelwasserstoff (= 0,4 Schwefel) in 16 Unzen vorkommt, ist schon ein starkes Schwefelwasser und vollends dann, wenn es noch die Hälfte Schwefel in Verbindung mit Basen enthält. Das stärkste Schwefelwasser der Pyrenäen enthält nur in Allem 0,46 Gran Schwefel, Weilbach nur 0,127 Gran Schwefelnatrium = 0,055 Gran Schwefelwasserstoff, die

Aachener Quellen nur 0,018 Gran bis 0,0729 Gran Schwefelnatrium = 0,0078 Gran bis 0,0316 Gran Schwefelwasserstoff; Landeck gab 1834 nur 0,093 Gran Schwefelsilber = 0,0127 Gran Schwefelwasserstoff und Nenndorf, dem man früher nach Wöhler $1/_{22}$ bis $1/_{42}$ Volumen Schwefelwasserstoff zuschrieb, hält nach der neuesten Analyse 0,134 bis 0,555 Gran Schwefelcalcium und 16,9 bis 45,4 p. m. des Volumens Schwefelwasserstoff. Letztere Quelle besitzt demnach den größten Gehalt = 0,3166 Gran Schwefelwasserstoff. Häufig entspringen die Schwefelquellen dem Gypsgebirge; so z. B. Stradella in Oberitalien, die Thermen längs der Küste der Sinaihalbinsel, Baden bei Wien und besonders häufig in den Karpathen. Durchgängig kommen die Schwefelquellen in der Nähe von Kohlenflötzen, aus bituminösen Schiefern, Stinksteinen und Moorgründen hervor, also aus Gebilden, die mit organischen Ueberresten reich beladen sind.

Für die Entstehung der Schwefelquellen haben wir einen Beleg in den Mineralwässern, die schwefelsaure Salze enthalten. Werden diese in Krügen versendet und befindet sich darin nur zufällig ein Strohhalm oder eine noch so geringfügige organische Substanz, so entwickelt sich beim Oeffnen der Geruch nach Schwefelwasserstoff. Diese Zersetzung findet zuweilen auch an den Ausflußstellen der Mineralwässer statt und dadurch ist manche Quelle in den unrechtmäßigen Ruf einer Schwefelquelle gekommen. Es ist ferner Thatsache, daß der Schlamm verschiedener Badeörter seinen Schwefelgehalt nur der zerlegenden Einwirkung von Torf auf schwefelsaure Salze, vornehmlich Gyps, verdankt. Bei den Karlsbader Thermen erzeugte sich Schwefelwasserstoff in Folge einer hölzernen Einfassung und solche kann auch Schuld sein, daß Brunnenwasser mitunter nach Schwefelwasserstoff riecht und somit verdorben ist. Ein interessanter Fall dieser Art kam jüngst bei Detmold vor *). Bei der dortigen Strafanstalt wurde ein 30 Fuß tiefer Brunnen angelegt, dessen Quelle anfangs gutes Wasser lieferte. Nach Verlauf von etwa einem Jahre aber wurde es in solchem Grade übelriechend und trübe, daß dasselbe durchaus nicht als Trinkwasser verwendet werden konnte. Eine genauere Untersuchung ergab, daß das Wasser außerhalb der hölzernen Pumpenröhre ganz hell und geruchlos war. Da das gepumpte Wasser reichlich Gyps und organische Substanzen enthielt, die es eben nur aus der Pumpenröhre aufgenommen hatte, so war das Räthsel gelöst. Die hölzerne Röhre wurde durch eine metallene ersetzt und damit war dem Uebelstande gründlich abgeholfen.

Entwickelungen von Schwefelwasserstoff treten ferner sehr häufig in der Nähe von Vulkanen hervor, in den sogenannten Fumarolen und Solfataren, und von der Zersetzung des Schwefelwasserstoffgases rühren meistens die Schwefelablagerungen an diesen Orten her. In Folge einer vulkanischen Thätigkeit trat am Grunde der Bai von Callao eine so starke Entwickelung von Schwefelwasserstoff hin, daß viele Tausende von Fischen starben. Die Fische kamen schaarenweise an die Oberfläche des Wassers; nach vergeblichen Versuchen unterzutauchen sprangen und schossen sie nach allen Richtungen aus einander. Dann wurden ihre Bewegungen kreisend, die Kreise immer kleiner und während sie auf den Rücken zu liegen kamen, hörte die Bewegung plötzlich auf. Darauf schwammen sie perpendiculär, den Kopf nach oben über Wasser, und nach einigen Convulsionen erfolgte

*) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXVII. S. 41.

der Tod. Bleibt Meerwasser in Pfützen zurück, in denen sich Seethiere befinden, so entwickelt sich reichlich Schwefelwasserstoff daraus. Letzterer soll sich auch oft im Meerwasser selbst finden; so z. B. zwischen der Küste von Langrune und Lyon bis 0,3 und 0,32 Tausendstel Volumen. Auch in alten verlassenen Steinkohlengruben entwickelt sich häufig dieses Gas. Es entsteht ferner bei der Fäulniß schwefelhaltiger Körper, so namentlich der Eier und der Excremente.

Das Schwefelwasserstoffgas ist ein farbloses, bitterschmeckendes Gas. Es besitzt einen äußerst unangenehmen Geruch, der an den der faulen Eier erinnert. Specifisches Gewicht = 1,1912. Bei einem Druck von 15 bis 16 Atmosphären verdichtet sich das Gas bei gewöhnlicher Temperatur zu einer farblosen, leicht beweglichen Flüssigkeit, deren spec. Gew. = 0,9 ist. Das Gas ist sehr giftig; ist die Luft nur mit $^1/_{1200}$ dieses Gases gemischt, so stirbt ein Vogel darin und bei $^1/_{100}$ ein Hund. Das Schwefelwasserstoffgas in Verbindung mit Schwefelammonium ist Schuld an den Unglücksfällen, die sich so häufig beim Ausräumen der Cloaken und Abtritte ereignen. Wenn dergleichen vorkommen, hat man nur die Ohnmacht zu bekämpfen, weniger das Gift selbst durch innerliche Mittel. Besonders wichtig ist hier die Entfernung des Ohnmächtigen aus der vergifteten Atmosphäre und dann das Besprengen des Gesichts und das anhaltend wiederholte Begießen des Kopfes mit kaltem Wasser. Zum inneren Gebrauch wird verdünntes Chlorwasser empfohlen. Um an den genannten Orten den abscheulichen Geruch zu vermeiden, muß man die Excremente mit schwefelsaurem Eisenoxydul oder Oxyd oder schwefelsaurem Manganoxydul und Kohlenpulver mischen, wobei man zugleich noch für die Landwirthschaft werthvolle Stoffe in dem Dünger zurückhält. Wo man dies nicht thut, muß man wenigstens für einen starken Luftzug sorgen. Handelt es sich darum, den Geruch schnell zu zerstören, so leistet Chlor sehr gute Dienste. Dieses entzieht dem Schwefelwasserstoff den Wasserstoff und bildet damit Chlorwasserstoffsäure, während der Schwefel abgeschieden wird ($SH + Cl = ClH + S$). Auf ähnliche Art zersetzen auch Jod und Brom das Schwefelwasserstoffgas.

Das Schwefelwasserstoffgas unterhält das Brennen nicht, wohl aber ist es selbst brennbar. Es verbrennt mit einer blaßblauen Flamme zu Wasser und schwefliger Säure, wobei sich in der Regel auch etwas Schwefel absetzt, wenn nicht hinreichend Sauerstoff vorhanden ist. Durch die Hitze wird es nur theilweise in seine Bestandtheile zerlegt; um eine vollständige Zersetzung herbeizuführen, muß man es sehr lange und oft durch glühende Röhren leiten. Durch Metalle wird es dagegen in der Hitze sehr leicht zersetzt; es bilden sich Schwefelmetalle, während der Wasserstoff entweicht. Einige Metalle, wie Kupfer und besonders Silber, thun solches schon bei gewöhnlicher Temperatur; daher laufen Münzen, Uhrengehäuse ꝛc. so sehr leicht in einer Schwefelwasserstoffatmosphäre an. Am empfindlichsten aber ist Blei; daher sehen wir unsere mit weißer Oelfarbe gestrichenen Thüren sich schwärzen. Nimmt man statt Bleiweiß Zinkweiß oder Schwerspath, so findet eine Farbenveränderung nicht statt, da Schwefelzink selbst weiß ist und Schwerspath unter diesen Umständen das Schwefelwasserstoffgas gar nicht zersetzt. Sauerstoffsäuren, welche den Sauerstoff leicht abgeben, wie die Salpetersäuren, zersetzen den Schwefelwasserstoff schon bei gewöhnlicher Temperatur sehr leicht; dasselbe thun fast alle Metalloxyde; es bilden sich Wasser und Schwefelmetalle. In feuchter Luft wird das Gas gleichfalls verändert; die Resultate sind hier aber je nach den

Umständen verschieden. Es kann sich nur Wasser bilden und Schwefel abscheiden, oder dieser wird gleichfalls zu schwefliger Säure oder gar zu Schwefelsäure oxydirt. Kommt z. B. das Gas mit sehr porösen Körpern, wie z. B. Leinwand in Berührung, so bildet sich sehr schnell Schwefelsäure, wodurch die Leinwand ganz zerstört wird. Diese Bemerkung hat man in den Schwefelbädern an den Badekleidern gemacht; sie giebt einen Beleg für das Entstehen der Schwefelsäure und der schwefelsauren Salze an Orten, wo sich Schwefelwasserstoffgas in bedeutender Menge entwickelt.

Schwefelwasserstoff ist eine Säure, jedoch nur eine schwache, da er dem Lackmus eine weinrothe Farbe ertheilt. Wasser löst davon bei gewöhnlicher Temperatur das 2 bis 3fache seines Volumens auf; beim Erwärmen wird das Gas wieder vollständig ausgeschieden. Durch den Sauerstoff der Luft wird das Gas in dieser Lösung sehr bald zersetzt; es scheidet sich Schwefel ab. Will man daher Schwefelwasserstoffwasser längere Zeit aufbewahren, so muß das Wasser luftfrei sein, die Flasche möglichst voll gefüllt und gut verstopft werden und ist sie dann in umgekehrter Stellung aufzubewahren. Alkohol löst das 5 bis 6fache seines Volumens an Schwefelwasserstoff auf. Kühlt man wasserhaltigen Alkohol bis auf — 20° ab und sättigt man ihn dann mit Schwefelwasserstoff, so setzen sich farblose Krystalle von Schwefelwasserstoffhydrat ab, die aber bei der geringsten Wärme unter Aufbrausen zerstört werden.

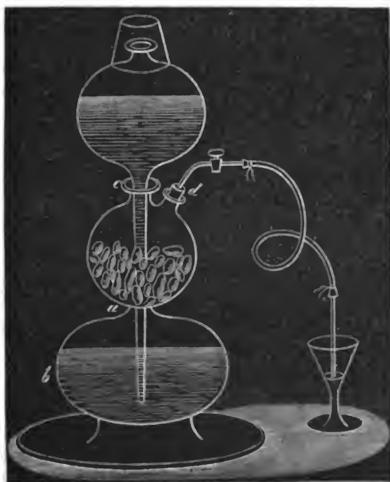
Direct verbinden sich Schwefeldampf und Wasserstoffgas nur, wenn man sie zusammen durch auf 400° erhitzte Stücke von Bimstein treibt *). Man bereitet das Schwefelwasserstoffgas allgemein durch Zersetzung des Schwefeleisens mittelst verdünnter Salz- oder Schwefelsäure. Die Zersetzung ist folgende: $Fe S + Cl H = Fe Cl + S H$ oder $Fe S + HO + SO^3 = (Fe O, SO^3) + S H$. Natürlich kann man statt des Schwefeleisens auch andere Schwefelmetalle nehmen. — Flüssigen Schwefelwasserstoff kann man erhalten, wenn man eine genügende Menge von Wasserstoffschwefel in eine Glasröhre bringt und diese an beiden Enden zuschmilzt. Nach und nach zersetzt sich dieser in Schwefel und Schwefelwasserstoff, der durch seinen eigenen Druck flüssig erhalten wird.

Wie schon angeführt, ist der Schwefelwasserstoff eine Säure und zwar eine Sulfosäure, die sich mit Sulfobasen zu Salzen vereinigt. Letztere nennt man gemeinhin Sulfhydrate, weil sie den Oxydhydraten analog zusammengesetzt sind. Wie z. B. Calciumsulfhydrat $Ca S, S H$ entsprechend dem Kalkhydrat $Ca O, HO$. Den Sauerstoff in letzterer Formel finden wir in ersterer durch Schwefel ersetzt.

Eine Anwendung findet das Schwefelwasserstoffgas einzig in der Chemie; aber hier ist es eines der wichtigsten Hülfsmittel bei chemischen Untersuchungen, um die verschiedenen Metalle aus ihren Auflösungen zu fällen und dann wiederum die einzelnen Metalle selbst zu erkennen. — Der Schwefelwasserstoff gehört unstreitig zu den Reagentien, die in chemischen Laboratorien, namentlich dort wo Chemiker ausgebildet werden, am häufigsten gebraucht werden. Mit diesem Gase gesättigtes Wasser hält sich, wie wir gesehen, nicht lange und dann ist es in den meisten Fällen bei chemischen Untersuchungen wenig zu brauchen, da dadurch

*) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXIV. p. 77.

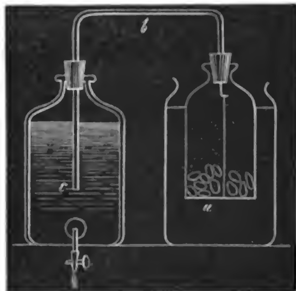
die Untersuchung zu sehr verzögert wird. Es muß daher stets Gas entwickelt werden und nie kann nur gerade so viel entwickelt werden, als gerade gebraucht wird. Die Säure und ein Theil des Schwefeleisens geht also stets verloren. Entweder entwickelt sich das Gas fort und verpestet die Luft oder man gießt die Säure fort und dann oxydirt sich das Schwefeleisen und wird unbrauchbar. Dazu kommt noch, daß von den Anfängern eine beispiellose Verschwendung mit diesem Reagens getrieben wird, von der nur der einen Begriff hat, der die Arbeit in chemischen Laboratorien geleitet hat. Diesen Uebelständen hilft der von Kipp in Delfft zuerst construirte Apparat zur gelegentlichen Entwickelung des Gases theilweise ab. Wie beistehende Figur zeigt, besteht er aus zwei Theilen. Der untere Theil begreift zwei durch einen engen Hals bei a in Verbindung stehende ungleiche Kugeln. Die untere dient zur Aufnahme der verdünnten Säure, die obere zur Aufnahme des Schwefeleisens in Stücken. In den Hals c schließt luftdicht eingeschliffen die



herabsteigende Röhre des oberen Theiles des Apparates; in dem Tubulus d sitzt in einem Korke oder eingeschliffen ein gläserner Hahn. Stellt man den Apparat zusammen, so schiebt man durch den Hals c ein ringförmiges Stück Kautschuk oder Leder in die mittlere Kugel, und steckt die Röhre des oberen Theiles durch das eben passende Loch des Ringes. Letzterer dient dazu, damit bei a keine größeren Schwefeleisenkörnchen in den unteren Raum fallen. Hat man die mittlere Kugel durch d mit Schwefeleisen gefüllt und den Hahn eingesetzt, so gießt man verdünnte Schwefelsäure durch die Oeffnung der obersten Kugel, bis diese sich gefüllt. Dann öffnet man den Hahn, läßt die Luft entweichen und gießt Säure nach, bis diese in das Schwefeleisen eindringt. Schließt man den Hahn,

so beginnt die Schwefelwasserstoffentwickelung und da das Gas nicht nach außen entweichen kann, dringt es in die Säure hinab und durch die lange Röhre in die obere Kugel. Die mittlere Kugel ist dann mit Gas gefüllt und dieses reicht für eine Reaction hinreichend aus. Will man einen permanenten Gasstrom haben, so erreicht man dies leicht durch Stellung des Hahnes; man kann dadurch die Schwefelsäure beliebig hoch in das Schwefeleisen hineintreten lassen, so daß die entwickelte Menge Gas gerade durch die Stellung des Hahnes entweichen kann. Damit sich kein Geruch verbreitet, bedeckt man die Oeffnung der oberen Kugeln durch ein umgestürztes Glas. Fallen bei a kleine Stückchen Schwefeleisen in den unteren Raum, so wird die Flüssigkeit oft zur oberen Kugel herausgedrängt; es ist daher zweckmäßig, den ganzen Apparat in eine flache Schale zu stellen.

Bei diesem Apparat ist nur dann die Verschwendung zu vermeiden, wenn man die größte Sorgfalt auf das Oeffnen und die Stellung des Hahnes verwendet; sonst entweicht auch hier viel mehr Gas als gebraucht wird. Um auch diesen Nachtheil zu beseitigen, hat Mohr einen Apparat construirt *), der immer ein gesättigtes Schwefelwasserstoffwasser erzeugt, dessen Verderben verhindert und den Verbrauch ersetzt. Der Apparat ist sehr leicht zu construiren und in der Anwendung sehr bequem, d. h. aber nur wohl zu einzelnen Reactionen und nicht bei größeren Untersuchungen, da durch das Wasser die Flüssigkeitsmengen zu groß werden, wodurch die nachfolgenden Operationen zu viel Zeit fortnehmen. Das Glas a (s. beistehende Figur) enthält verdünnte Schwefelsäure und auf einer durchbohrten Glasplatte, in einem unten offenen Gasbehälter schwebend, Stücke von Schwefeleisen. Eine Glasröhre b verbindet den Entwickelungsapparat mit dem Absorptionsgefäß c, welches mit destillirtem Wasser gefüllt wird. Die Flasche c hat einen seitlichen Ausfluß am Boden, in welchem eine kleine Glasröhre steckt, die mit einem Stück vulkanisirten Kautschukrohres versehen ist. Letzteres wird durch eine federnde Klammer, den bekannten Mohr'schen Quetschhahn, zusammengedrückt und hat eine kleine Glasröhre zum Ausfluß. Ist der Apparat hergerichtet, so hebt man, wenn die Entwickelung eintreten soll, den Kork von c leicht ab, ohne aber die Glasröhre aus dem Wasser zu ziehen. Bemerkt man in der Folge, daß Gas aus c entweicht, so setzt man den Kork dicht ein und jetzt findet nur eine langsame Entwickelung statt, so lange das Gas von dem Wasser absorbirt wird. Sobald man Wasser aus c abläßt, findet von Neuem eine Gasentwickelung statt und der Luftraum in c füllt sich mit dem Gase. In dieser Art ist das Verderben des Wassers ganz gehindert, da kein Sauerstoff hinzutreten kann. Ist die Flasche c leer, so füllt man sie wieder mit frischem Wasser, dessen Sättigung in der Ruhe von selbst vor sich geht.



*) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXXV. S. 129.

Seitdem der Apparat von Kipp bekannt geworden, giebt es einen wahren Ueberfluß an Constructionen derartiger Apparate und jeder legt seiner Zusammenstellung die meisten Vortheile bei. Solche Constructionen haben unter anderen gegeben: Fresenius *), Bädeker **), Baumhauer ***), Kemp ****) und Daubrawa *****).

Ueber die Verbindung des Schwefels mit dem Kohlenstoff s. d. Art. Kohlenstoff, Bd. IV. S. 320; über die mit dem Stickstoff s. d. Art. Stickstoff; über die mit dem Chlor s. d. Art. Chlor, Bd. I. S. 963. Es ist wahrscheinlich, daß sich Brom in denselben Verhältnissen mit dem Schwefel verbindet, wie Chlor, aber diese Verbindungen sind nur sehr schwierig zu erhalten, da der Bromschwefel sowohl Brom als Schwefel aufzulösen im Stande ist. Ueber die Verbindungen des Schwefels mit Jod s. d. Art. Jod, Bd. IV. S. 124. Eine Verbindung von Fluor mit Schwefel, eine rauchende Flüssigkeit, ist von Davy dargestellt worden. Bor und Kiesel verbrennen im Schwefeldampfe, aber die Umänderung in Schwefelbor und Schwefelkiesel findet nur unvollständig statt, indem diese Verbindungen das Bor und den Kiesel überziehen und dann vor weiterer Einwirkung des Schwefels schützen. Beide Verbindungen werden durch Wasser zersetzt. Nach Frémy †) bildet sich Schwefelsilicium $Si\,S^3$ (entsprechend der Kieselsäure $Si\,O^3$) überall, wo freie oder gebundene Kieselsäure der Einwirkung von Schwefelkohlenstoff ausgesetzt wird. Das Schwefelsilicium bildet lange seidenglänzende Nadeln; durch Wasserstoff läßt es sich nicht reduciren, aber in feuchter Luft wird es vollständig zersetzt. — Schwefelbor $B\,S^3$ hat Frémy durch lebhaftes Glühen von mit Kohle gemischter Borsäure in einem Strome von Schwefelkohlenstoff erhalten; durch letzteren allein erhält man das gewünschte Resultat nicht. Schwefelbor krystallisirt in seidenglänzenden Büscheln, riecht stechend und schweflig, ist für sich allein schwierig zu verflüchtigen, wird durch Schwefelwasserstoff nicht reducirt, wohl aber durch Wasser leicht zersetzt. Ueber die Verbindungen des Schwefels mit dem Phosphor s. d. Art. Phosphor, S. 230 und über die mit dem Arsenik s. d. Art. Arsenik, Bd. I. S. 360.

Mit allen Metallen verbindet sich der Schwefel direct, wenn man beide zusammen erhitzt oder das erwärmte Metall dem Schwefeldampf aussetzt. Einige Metalle, wie z. B. Kupfer, Blei, Eisendraht, gerathen in dem Schwefeldampf in ein lebhaftes Erglühen. Bei Gegenwart von Wasser verbinden sich einige Metalle bereits in gewöhnlicher Temperatur mit dem Schwefel. Benetzt man z. B. eine Mischung von Eisenfeilspänen und Schwefelblumen mit Wasser, so entwickelt sich sehr bald eine große Hitze in Folge der Vereinigung des Eisens mit dem Schwefel. Mit großen Mengen dieses Gemisches (z. B. 60 Pfd.) kann man sogar einen kleinen Vulkan darstellen. Die Hitze wird hier so groß, daß das Eisen einen Theil des Wassers zersetzt, wo sich dann das Wasserstoffgas entzündet. Desgleichen kann man eine große Zahl von Schwefelmetallen darstellen, wenn man Oxyde mit

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 177.
**) Arch. der Pharm. [2] Bd. LXXX. S. 141.
***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XC. S. 17.
****) Chem. Centralbl. 1854. S. 591.
*****) Wittstein's Vierteljahrschr. f. prakt. Pharm. Bd. V. S. 231.
†) Compt. rend. T. XXXVI. p. 178.

Schwefel erhitzt oder wenn man durch die Lösungen der Metallsalze Schwefelwasserstoff leitet. Oft bildet der Schwefel mit einem Metalle mehrere Verbindungen, die in der Regel den Sauerstoffverbindungen entsprechen. Die meisten Schwefelmetalle sind unlöslich in Wasser; von den einfach geschwefelten sind nur die der Alkalien auflöslich und von den mehrfach geschwefelten außer diesen nur noch die der alkalischen Erden. Einige Schwefelmetalle besitzen einen deutlichen Metallglanz. Theils widerstehen die Schwefelmetalle der Einwirkung der Hitze sehr gut, theils werden sie aber dadurch zersetzt. Durch die Säuren werden die Schwefelmetalle zersetzt und je nach deren Schwefelungsstufe entweicht nur Schwefelwasserstoff oder es scheidet sich auch noch Schwefel aus.

Der erstickende Geruch, der sich beim Verbrennen des Schwefels erzeugt, kann dazu dienen, die Gegenwart selbst sehr geringer Mengen von Schwefel darzuthun. Man erhitzt eine Probe auf Kohle in der äußeren Flamme des Löthrohrs oder in einem kleinen gläsernen Cylinder, so entwickelt sich die schweflige Säure, die leicht durch den Geruch oder die Röthung von Lackmuspapier erkannt werden kann. Oder man schmilzt die Probe mit Soda zusammen, legt die geschmolzene Masse auf Silberblech und befeuchtet dieselbe. Die Gegenwart des Schwefels giebt sich dann durch einen schwarzen oder dunkelgelben Fleck auf dem Silber, also durch Bildung von Schwefelsilber, zu erkennen. Eben so verhalten sich die schwefligsauren und schwefelsauren Salze, wenn man sie auf Kohle mit Soda durch die innere Flamme des Löthrohrs zusammenschmilzt. Es ist hierbei jedoch zu bemerken, daß Selenmetalle, selenichtsaure und selensaure Salze unter gleichen Umständen ganz dieselbe Reaction auf Silber ausüben. Ein sehr schätzbares Reagens auf Schwefel ist das von Playfair entdeckte Natriumnitroprussid *). Man schmilzt die genannte Schwefelverbindung mit Soda vor dem Löthrohr zusammen, legt die Probe dann auf ein Uhrglas, befeuchtet sie mit einem Tropfen Wasser und fügt ein kleines, nadelkopfgroßes Stückchen Natriumnitroprussid hinzu. Es entsteht nun eine prächtige Purpurfärbung, leider nur von einer sehr kurzen Dauer. Diese Reaction ist so empfindlich, daß der Schwefel dadurch sogar in einem einzigen Haare nachgewiesen wird. — Die unterschwefligsauren Salze entwickeln aus ihren Auflösungen bei Zusatz von Säuren den charakteristischen Geruch der schwefligen Säure, wobei sie sich gleichzeitig trüben, indem sich Schwefel absetzt. Außerdem ist ihr Verhalten gegen Silberoxyd- und Quecksilberauflösungen so ausgezeichnet, daß sie nicht leicht mit anderen Säuren verwechselt werden kann. Mit salpetersaurem Silberoxyd entsteht ein Niederschlag, der zuerst weiß ist (unterschwefligsaures Silberoxyd), aber sehr bald durch Gelblich und Braun in Schwarz (Schwefelsilber) übergeht. Filtrirt man die Flüssigkeit ab, so ist darin Schwefelsäure enthalten, die durch eine Auflösung von salpetersaurem Baryt nachgewiesen werden kann. Ganz dasselbe Verhalten zeigt Quecksilberchlorid, wenn es nur in geringer Menge dem unterschwefligsauren Salze zugesetzt wird; anderenfalls bleibt der Niederschlag weiß, aber auch hier ist in der Flüssigkeit Schwefelsäure enthalten. — Dieselben Reactionen zeigen auch die Salze der Pentathionsäure, die ja auch dieselbe procentische Zusammensetzung besitzt, wie die dithionichte Säure. Der Unterschied ist nur der, daß erstere in ihrer Auflösung in Wasser dargestellt werden kann und letztere nicht. — Dasselbe gilt von den Salzen der Tetrathionsäure;

*) Vergl. d. Art. Kohlenstoff, Bd. IV. S. 320.

und diese ist wiederum von der Pentathionsäure dadurch zu unterscheiden, daß sie in ihrer Auflösung in Wasser eine noch größere Beständigkeit zeigt. Aber auch die Salze der Trithionsäure zeigen dasselbe Verhalten; von der dithionichten Säure ist diese wohl durch die Fähigkeit, für sich in der Auflösung in Wasser bestehen zu können, zu unterscheiden, aber die Trithion-, Tetrathion- und Pentathionsäure sind unter sich sehr schwer zu unterscheiden, sicher nur durch die quantitative Analyse. — Die schwefligsauren Salze sind sehr leicht zu erkennen durch den charakteristischen Geruch, den sie beim Uebergießen mit Säuren entwickeln; von den unterschwefligsauren Salzen unterscheiden sie sich dadurch, daß sie keinen Schwefel absetzen. Um die geringsten Spuren von schwefliger Säure, z. B. in geschwefelten Gegenständen (Wein, Hopfen, Seidenzeug ꝛc.), nachzuweisen, erhitzt man nach Heintz *) die Flüssigkeit oder die Substanz mit einer Auflösung von Zinnchlorür in verdünnter Salzsäure bis zum anfangenden Kochen. Es entsteht nun entweder eine Fällung von Schwefelzinn, oder waren nur Spuren von schwefliger Säure vorhanden, so macht sich wenigstens der Geruch von Schwefelwasserstoff merklich. Wird auch dieser verdeckt, so erhält man ein sicheres Resultat, wenn man der erkalteten Flüssigkeit einige Tropfen einer Kupfervitriollösung hinzusetzt. Es fällt sogleich Schwefelkupfer nieder, welches durch seine intensive Farbe die Gegenwart auch der geringsten Mengen von Schwefelwasserstoff, also in diesem Falle auch von schwefliger Säure nachweist. Nach Wagner **) thut man die auf schweflige Säure zu prüfenden Substanzen mit Zink und verdünnter Salzsäure in einen Kolben und leitet das entwickelte Wasserstoffgas in eine verdünnte, nur schwach bräunliche Lösung von Nitroprussidnatrium, die mit einigen Tropfen Kalilauge versetzt worden ist. War schweflige Säure vorhanden, so entwickelt sich Schwefelwasserstoffgas und schon die erste Gasblase bewirkt in der Flüssigkeit eine violette Wolke und bald eine prächtige purpurrothe Färbung. Das von Löwenthal zu gleichem Zweck vorgeschlagene Reagens ***) ist nach Böttger ****) in der That zu empfindlich. Darnach würde jeder Wein und jeder Hopfen geschwefelt sein; da der Gerbstoff und das Lupulin auf das Reagens gleichfalls reducirend wirken.

Die unterschwefelsauren Salze entwickeln mit Säuren den Geruch der schwefligen Säure, setzen aber keinen Schwefel ab, wodurch sie sich von den unterschwefligsauren Salzen unterscheiden. Durch die gleichzeitige Bildung von Schwefelsäure sind sie von den schwefligsauren Salzen zu unterscheiden. — Für die schwefelsauren Salze ist die Reaction mit Baryt charakteristisch. Der schwefelsaure Baryt ist weder in Wasser noch in Säuren löslich. Die einzige Verwechselung ist mit der Kieselfluorwasserstoffsäure und der Selensäure möglich, die indessen selten vorkommen, und da giebt das Verhalten der schwefelsauren Salze vor dem Löthrohr und auf dem Silberblech den sichersten Aufschluß.

Die Anwesenheit des Schwefelwasserstoffs verräth sich sehr leicht durch den Geruch. Viel empfindlicher noch als die Nase ist ein mit einer Auflösung von essigsaurem Bleioxyd getränkter Papierstreifen, der sich sofort bräunt oder schwärzt. — Die Auffindung von Schwefelkohlenstoff ist namentlich für die Unter-

*) Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 160.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXV. S. 135.
***) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXX. S. 398.
****) Jahresber. d. phys. Vereins zu Frankfurt a. M. 1853 — 54.

suchung des Leuchtgases von Wichtigkeit. Hier leistet die Methode von Vogel*) gute Dienste. Man leitet das Gas durch eine weingeistige Kalilösung. Man läßt dann die Lösung auf einem Uhrglase fest eintrocknen und setzt essigsaures oder schwefelsaures Kupferoxyd hinzu. War Schwefelkohlenstoff zugegen, so erhält man einen citronengelben Niederschlag von xanthonsaurem Kupferoxyd. Fällt Kupferoxydhydrat mit nieder, so nimmt man es bei gewöhnlicher Temperatur durch Ammoniak hinweg. Oder man kocht die weingeistige oder wässerige Lösung des Schwefelkohlenstoffs mit Kali und fügt salpetersaures Bleioxyd hinzu, so fällt sogleich schwarzes Schwefelblei nieder. Vogel fand auf diese Art in 2 Cubikfuß Leuchtgas, das frei von Schwefelwasserstoff war, unzweifelhaft Schwefelkohlenstoff.
W. B.

Schwere nennt man das allen irdischen Körpern eigenthümliche Bestreben, der Oberfläche oder dem Mittelpunkte der Erde sich zu nähern. Die ursprüngliche Thatsache, d. h. das unmittelbar Gegebene ist hier das Fallen der Körper gegen die Erde hin. Wenn irgend ein Körper nach der Erde hin fällt, so haben wir ein räumliches Verhältniß, das fortwährend abgeändert wird, und zwar nach einem bestimmten Gesetze. Dieses letztere bezeichnet aber nichts anderes als die constante Art und Weise, wie das räumliche Verhältniß zwischen dem fallenden Körper und der Erde in der Zeit sich ändert. Da nun die Art und Weise dieser Bewegung, welche man den freien Fall der Körper nennt, sich stets als eine constante, d. h. gesetzliche erweist **), so schließen wir hieraus, daß der freie Fall der Körper keine zufällige, sondern eine durch eine bestimmte Ursache bewirkte Bewegung ist. Alle Körper, von welcher materiellen Beschaffenheit sie auch sein mögen, nehmen, in einer gewissen Entfernung von der Erde sich selbst überlassen, eine nach der Erde gerichtete Bewegung an, die (abgesehen von Bewegungshindernissen) eine gleichförmig beschleunigte ist. Die Ursache dieser Bewegung kann nur eine beständig wirkende sein, die nicht allein auf den fallenden Körper, sondern auch auf die Erde, gegen welche hin das Fallen geschieht, Bezug hat. Den beständigen Zuwachs = g, welchen die Geschwindigkeit des frei fallenden Körpers in der Zeiteinheit, d. h. in der Secunde erhält, nennt man die Beschleunigung (Acceleration) der Schwere, die zugleich ein Maß für die Intensität der Schwere ist ***). An demselben Orte der Erde ist der Werth von g für alle Körper von gleicher Größe, so daß alle Körper an demselben Orte oder an nicht weit von einander entfernten Orten im luftleeren Raume mit gleicher Geschwindigkeit fallen. Verschiedene Erfahrungen bestätigten dies (s. d. Art. Fall der Körper), besonders Versuche mit dem Pendel, welches das genauste Mittel bietet, um den Werth von g an verschiedenen Orten der Erde zu bestimmen (s. d. Art. Pendel,

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXVI. S. 370.

**) Vergl. Art. Fall der Körper, Bd. III. S. 5.

***) Wenn hiernach g die in der Zeiteinheit in Folge der Schwere bewirkte Geschwindigkeit bedeutet, so ist die Geschwindigkeit v des fallenden Körpers am Ende der Zeit t: $v = gt$ und der Fallraum s während der Zeit t : $s = \frac{1}{2} g t^2$. Der während der ersten Zeiteinheit zurückgelegte Weg ist dann $= \frac{g}{2}$. Bezeichnet aber g, wie es gleichfalls gebräuchlich ist (s. Art. Bewegung, Bd. I. S. 813 und Art. Fall der Körper, Bd. III. S. 6 f.), den in der ersten Zeiteinheit durchlaufenen Weg, so hat man $v = 2\,gt$ und $s = gt^2$, so daß dann $2\,g$ das Maß der beschleunigenden Kraft ist.

Bd. V. S. 177). Welche Art von Materie man auch unter sonst gleichen Umständen schwingen läßt, der aus der Schwingungsdauer abgeleitete Werth von g erweist sich an demselben Orte der Erde stets als gleich groß. In dieser Beziehung wurden schon von Newton *) Versuche angestellt, indem er an einer Pendelstange eine hohle Kapsel, die nach einander mit verschiedenen Substanzen gefüllt werden konnte, schwingen ließ. Die Schwingungszeiten waren bei allen Körpern von gleicher Größe. Auch Bessel **) stellte mit großer Sorgfalt derartige Versuche an; die verschiedenartigsten Körper gaben ein gleiches Resultat bezüglich des Werthes von g. Die Intensität der Schwere ist also hiernach an demselben Orte der Erde für alle Körper dieselbe. Dagegen ist der Werth von g an verschiedenen, weit auseinander gelegenen Orten von ungleicher Größe, was ebenfalls durch Pendelbeobachtungen sicher dargethan ist. Richer beobachtete schon im Jahre 1672, daß ein Pendel, das in Paris Secunden schlägt, auf Cayenne verkürzt werden muß, wenn es auch hier Secunden schlagen soll. Und von dem Aequator nach dem Pole hin muß die Pendellänge vergrößert werden, falls man die Schwingungszeit unverändert erhalten will. Die von dem Aequator an gerechneten Zunahmen der Pendellängen sind aber den Quadraten der Sinus der respectiven geographischen Breiten proportional (s. Art. Bewegung, Bd. I. S. 828 ff.), und die Vergrößerung der Intensität der Schwere vom Aequator nach dem Pole hin entspricht der Zunahme der Pendellänge, so daß man $g' = g\,(1 + x \sin^2 \varphi)$ hat, wo g die Intensität der Schwere unter dem Aequator und g' diejenige unter der Breite φ bezeichnet, während x ein durch Beobachtungen zu bestimmender Factor ist, der mit der Abplattung der Erde und auch mit der Centrifugalkraft in Beziehung steht.

Bezeichnet nämlich A die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Aequator und L dessen Länge unter der Breite φ, so hat man (Art. Bewegung, Bd. I. S. 829) $L = A\,(1 + x \sin^2 \varphi)$. Nun ist aber auch (Art. Pendel, Bd. V. S. 177) $g = \pi^2 A$ und $g' = \pi^2 L$, also auch, wie oben, $g' = g\,(1 + x \sin^2 \varphi)$, in welcher Formel anstatt $\sin^2 \varphi$ auch $\frac{1 - \cos 2\varphi}{2}$ eingeführt werden kann.

Was den Factor x betrifft, so hat man darüber verschiedene numerische Angaben, die jedoch nicht beträchtlich von einander abweichen. Nehmen wir $x = 0{,}005682$ ***), so erscheint $g' = g\,(1{,}002841 - 0{,}002841 \cos 2\varphi)$.

Nimmt man aber nach dieser Formel die Intensität der Schwere für $\varphi = 45^0$, wo sie mit dem aus Pendelversuchen in Paris (48° 50' 14'') ermittelten Werthe $g = 9{,}80896$ Meter ziemlich nahe übereinkommt, als Einheit und bezeichnet sie durch g; so hat man für die Intensität g' der Schwere unter irgend einer anderen Breite φ, $g' = g\,(1 - 0{,}002841 \cos 2\varphi)$.

Bei Biot ****) ist der Factor von $\cos 2\varphi$ gleich 0,002837 und bei Poisson *****) gleich 0,002588.

*) Principia Lib. III. prop. VI. Theor. 6.

**) Astron. Nachrichten. 1832. Nr. 223. Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 401.

***) Poisson: Traité de Mécan. T. I. p. 393.

****) Traité de Phys. T. I. p. 390.

*****) Traité de Mécan. 2. édit. Deutsch von Stern. Bd. I. S. 296.

Die Abnahme der Schwere vom Pole nach dem Aequator, oder umgekehrt die Zunahme derselben vom Aequator nach dem Pole hin, und zwar proportional dem Quadrate des Sinus der geographischen Breite, kommt einmal daher, daß die Erde die Gestalt eines elliptischen Sphäroids hat (s. d. Art. Erde), dessen Oberfläche nicht überall gleiche Entfernung vom Mittelpunkte hat, was denn auch den veränderlichen Werth der Schwere in dem angegebenen Sinne bedingt.

Alsdann macht sich in Folge der Axendrehung der Erde die Centrifugalkraft als eine Ursache geltend, welche die Intensität der Schwere vermindert. Dreht sich nämlich ein Körper um eine Axe, so bekommen alle außerhalb derselben liegenden Theile ein Bestreben, sich nach einer auf ihr senkrechten Richtung von ihr zu entfernen. Die Centrifugal- oder Fliehkräfte der Körper, welche sich an der Oberfläche der Erde befinden und sich mit dieser um die Axe der Pole drehen, verhalten sich nun zu einander, wie die Halbmesser der Parallelkreise, welche sie während der Umdrehung beschreiben (s. Art. Bewegung, Bd. I. S. 826 ff.). Man erkennt hiernach leicht, daß die Centrifugalkraft der Schwere entgegen wirkt und zwar am meisten unter dem Aequator, wo sie ihren größten Werth hat und der Richtung der Schwere gerade entgegengesetzt ist. Am Aequator muß also das Gewicht g der Körper dem Ueberschusse der Intensität G der Schwere, welche ohne die Axendrehung der Erde gelten würde, über die Centrifugalkraft gleich sein. Nun ist aber diese letztere, wenn r den Halbmesser des Aequators und t die Zeit der Umdrehung der Erde bezeichnet, gleich $\frac{4\pi^2 r}{t^2}$, also $g = G - \frac{4\pi^2 r}{t^2}$, oder, da das zweite Glied dieser Formel sehr klein im Verhältniß zum ersten ist, $g = G\left(1 - \frac{4\pi^2 r}{g t^2}\right)$.

Man hat nun näherungsweise $2\pi r = 40000000$ Meter, $t = 86164$ Secunden und $g = 9^m,80896$. Diese Werthe geben $\frac{4\pi^2 r}{g t^2} = \frac{1}{289}$ für die Verminderung der Schwere am Aequator. Man sieht, daß dieser Bruch um so größer wird, je kleiner t oder je schneller die Axendrehung der Erde geschieht. Da nun $289 = 17^2$ ist, so folgt, daß, wenn die Umdrehung der Erde im 17. Theile eines Tages geschähe, die Centrifugalkraft der Schwere am Aequator gleich wäre, und die Körper dort, sich selbst überlassen, im Gleichgewichte bleiben würden.

Vom Aequator nach den Polen hin nimmt aber die Centrifugalkraft fortwährend ab, so daß sie an den Polen selbst verschwindet. Um nun die Verminderung der Intensität der Schwere an irgend einem Orte zwischen dem Aequator und Pole zu bestimmen, sei r wie oben der Halbmesser des Aequators und r' der Halbmesser des Parallelkreises für den Ort, dessen geogr. Breite φ sei. Es ist dann $r' = r \cos\varphi$. Da nun φ der Winkel ist, welchen die Richtung der Centrifugalkraft, d. h. die Verlängerung von r' mit der Verticalen einschließt, so ergiebt sich die verticale Componente der Centrifugalkraft, wenn man die Intensität der letzteren an dem betreffenden Orte, nämlich $\frac{4\pi^2 r'}{t^2}$ mit $\cos\varphi$ multiplicirt, so daß dann $\frac{4\pi^2 r'}{t^2} . \cos\varphi = \frac{4\pi^2 r \cos^2\varphi}{t^2}$ oder, wenn man $\frac{4\pi^2 r}{t^2} = f$

setzt, $F \cos \varphi^2$ die Verminderung angiebt, welche die Intensität der Schwere, in Folge der Axendrehung der Erde, unter der geographischen Breite φ erfährt. Die wirkliche Schwere an dem betreffenden Orte ist hiernach $g' = G - F \cos \varphi^2$.

Da nun die wirkliche Schwere am Aequator nach dem Obigen $g = G - F$ ist, so hat man für den Ueberschuß der Schwere an irgend einem Orte, dessen Breite φ, über die Schwere am Aequator $g' - g = F - F \cos \varphi^2 = F \sin^2 \varphi$. Die Schwere nimmt also hiernach, wie es auch der Erfahrung gemäß ist, vom Aequator nach dem Pole hin dem Quadrate des Sinus der geographischen Breite proportional zu.

Wäre nun die Erde eine durchaus gleichartige Kugel, so würde die Gesammtverminderung der Schwere vom Pole bis zum Aequator $1/_{289}$ ausmachen. Da aber die Erde ein an den Polen abgeplattetes elliptisches Sphäroid ist, so resultirt auch hieraus, wie bereits oben (S. 793) erwähnt wurde, eine Verminderung der Schwere, die sich zu der durch die Centrifugalkraft bewirkten gesellt, und gleichfalls dem Quadrate des Sinus der geographischen Breite proportional ist. So erhält man denn auch nach Pendelbeobachtungen anstatt des Bruches $1/_{289}$ vielmehr den Werth $1/_{200}$ für die Verminderung der Schwere unter dem Aequator, oder umgekehrt für die Vergrößerung derselben am Pole.

In verticaler Richtung nimmt die Schwere ab, wenn man sich vom Mittelpunkte der Erde entfernt, was daraus folgt, daß ein und dasselbe Pendel am Gipfel eines hohen Berges weniger Schwingungen macht, als am Fuße desselben.

Die Richtung, in welcher ein Körper, sich selbst überlassen, frei nach der Erde hinfällt, ist die Richtung der Schwere, die man leicht findet, wenn man das eine Ende eines Fadens an einen Körper, z. B. an ein Stück Blei, und das andere Ende desselben an einen unbeweglichen Punkt befestigt. Die Richtung des Fadens wird dann allein von dem Körper, welcher zu fallen strebt, bestimmt, und giebt die Richtung der Schwere oder die sogenannte Falllinie an. Statt des eben beschriebenen Lothes kann man sich auch zu demselben Behufe eines Pendels bedienen. Die Richtung der Schwere heißt lothrecht, senkrecht, vertical, oder auch normal. Stellen wir uns die Erde als eine Kugel vor, was hier annäherungsweise geschehen kann, und nehmen wir an, daß über ihrer Oberfläche an mehreren Punkten Pendel aufgehängt wären, so werden diese sämmtlich nach dem Mittelpunkte der Erde convergiren und folglich mit den verlängerten Radien der Erde zusammenfallen. Da nun für jeden Punkt einer Kugel die berührende Ebene auf den nach demselben Punkt der Kugel gezogenen Radius senkrecht steht, so folgt, daß für jeden Punkt der Erdkugel die Richtung der Schwere senkrecht auf der Berührungsebene an diesem Punkte steht; diese Ebene ist die Horizontalebene (s. d. Art. Horizont). Die vielen Unebenheiten auf der Erdoberfläche sind in der Voraussetzung, daß die Erde eine Kugel sei, vernachlässigt, und daher kommt es, daß die Fläche des Beobachtungsortes oft sehr bedeutend gegen die Richtung der Schwere in demselben geneigt ist; man hat aber nur nöthig, die Horizontalebene (z. B. durch ein aufgestelltes Niveau) zu bestimmen, um sich zu überzeugen, daß die Richtung der Schwere senkrecht auf der Horizontalebene des Ortes steht. Da auf der Erde, wegen der kugelartigen Gestalt derselben, jeder Ort eine andere Horizontalebene hat, so folgt schon hieraus und überdies aus dem Umstande, daß

die Richtung der Schwere jedes Ortes mit der Richtung des Radius an demselben Orte zusammenfällt, daß die Verticalen an den verschiedenen Orten der Erde nicht parallel unter einander sind, sondern gewisse Winkel mit einander einschließen. Berücksichtigt man jedoch nur eine im Verhältnisse zur Oberfläche der Erde kleine Ausdehnung, so erscheinen die Richtungen der Schwere als durchaus parallel, insofern nämlich die Abstände, die bei dieser Ausdehnung vorkommen können, im Vergleich zum Erdhalbmesser verschwindend kleine Größen sind, so daß denn auch die Winkel, welche die Richtungen der Schwere bei denselben machen, zu gering sind, um merklich zu sein. Bei größeren Entfernungen kann man den Winkel, welchen die Lothe in zwei auf demselben Meridian liegenden Orten machen, und welcher stets dem zwischen beiden Orten liegenden Bogen des Meridians (s. d. Art. Meridian) gleich ist, mit Hülfe von Sternbeobachtungen bestimmen.

Es ist bereits hervorgehoben, daß die Intensität der Schwere für die verschiedenartigsten Körper an demselben Orte der Erde gleich groß ist, woraus denn folgt, daß die Schwere sich gegen alle Körper gleichmäßig verhält, und von der besonderen Beschaffenheit der einzelnen Stoffe nicht abhängt. Denkt man sich alle Körper in sehr kleine, gleich große Theilchen getheilt, so werden alle diese Theilchen an demselben Orte mit gleicher Geschwindigkeit nach der Erde hin fallen. Die Tendenz, sich der Erde zu nähern, ist bei allen gleich groß, d. h. sie sind alle gleich schwer. Auch macht es keinen Unterschied, ob ein solches materielle Theilchen allein fällt, oder ob mehrere derselben in Verbindung, d. h. zusammen fallen. Ist aber ein Hinderniß vorhanden, welches sich der Fallbewegung entgegen stellt, so üben die Körper auf dasselbe einen Druck aus, welchen man ihr Gewicht nennt. Da nun mehrere jener Massentheilchen vermöge ihrer Schwere, d. h. ihres Strebens, zu fallen, einen stärkeren Druck auf das Hinderniß, z. B. auf eine feste Unterlage, ausüben werden, als ein einziges Theilchen, so muß das Gewicht eines Körpers von seiner Masse, d. h. von der Menge seiner Materie oder von der Menge jener kleinen Theilchen, aus denen er besteht, abhängen. Daher ist das Gewicht eines Körpers das Product aus seiner Masse in die Intensität der Schwere an dem Orte, wo er sich befindet (s. d. Art. Gewicht).

Die Erscheinungen der Schwere lassen sich füglich so ansehen, als ob sie bewirkt würden durch eine wechselseitige Anziehung zwischen allen materiellen Theilchen der Erde und allen materiellen Theilchen der fallenden Körper. Da jedoch die Masse der Erde außerordentlich groß ist im Verhältnisse zu den auf ihr befindlichen Körpern, so verhält sich die Sache so, als ob nur von der Erde aus eine Anziehung auf diese Körper stattfände. Man kann sich auch die partiellen Anziehungen aller Theilchen der Erde, wegen der kugelförmigen Gestalt der letzteren, in ihrem Mittelpunkte vereinigt denken, so daß die Kraftlinien der Schwere sich von diesem Mittelpunkte aus sphären- und strahlenartig im Raume verbreiten. Da sich nun diese Kraftlinien mit wachsender Entfernung vom Mittelpunkte der Erde auf immer größere Kugelflächen verbreiten, und die letzteren sich wie die Quadrate ihrer Halbmesser verhalten, so wird die Wirksamkeit der Kraftlinien, oder die Anziehung der Erde abnehmen, wie das Quadrat der Entfernung (vom Mittelpunkte der Erde) zunimmt, d. h. sie wird sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung verhalten.

Durch Newton wurde, auf Grund der Kepler'schen Gesetze (Art. Pla-

neten, Bd. V. S. 336 ff.), dargethan *), daß alle Körper, welche zu unserem Sonnensysteme gehören, in ihren Bahnen durch eine Kraft erhalten werden, welche ganz nach denselben Gesetzen wirkt, wie diejenige, durch welche das Fallen der Körper nach der Erde hin geschieht. Man nennt nun jene Kraft, von welcher die Schwere an der Erdoberfläche nur als ein specieller Fall anzusehen ist, die allgemeine Schwere oder auch die Gravitation.

Die Planeten bewegen sich in krummen Linien (s. Art. Planeten). Nun ist aber eine krummlinige Bewegung nur unter der Voraussetzung einer bewegenden Ursache möglich, die den bewegten Körper fortwährend von der geradlinigen Richtung ablenkt, nach welcher er, vermöge des Gesetzes der Trägheit, seine Bewegung fortzusetzen strebt. Folgten die Planeten nur einer ursprünglichen Stoßkraft, oder hätten sie eine anfängliche Bewegung in gerader Richtung, so würden sie in dieser, ohne sonstige Einwirkung, mit derselben Geschwindigkeit fortgehen. Hat dagegen jeder Planet zugleich das Bestreben, sich nach der Sonne hin zu bewegen, in derselben Weise, wie ein sich selbst überlassener Körper nach der Erde hinstrebt, so muß der Planet, indem sich seine ursprüngliche Bewegung mit der nach der Sonne gerichteten zusammensetzt, eine krummlinige Bahn um die Sonne beschreiben. Die Bewegung der Planeten ist eine Centralbewegung (s. Artikel Bewegung, Bd. I. S. 830 ff.); und bei einer solchen Bewegung läßt sich die bewegende Kraft, welche den Körper treibt, für jeden Punkt der Bahn in zwei Seitenkräfte zerlegen, von welchen die eine die Bahn berührt, während die andere, nach dem Centralpunkte gerichtete, auf der Bahn senkrecht ist. Diese letztere Seitenkraft muß nun mit der gerade entgegengesetzt gerichteten Centrifugalkraft im Gleichgewichte sein, und sie ist es eigentlich, welche den bewegten Körper in seiner krummlinigen Bahn um den Centralpunkt erhält. Beschränken wir uns hier, der Einfachheit wegen, auf die gleichförmige Centralbewegung im Kreise, so hat man für die Centrifugalkraft den Werth $\frac{4\pi^2 r}{t^2}.m$ (s. Art. Bewegung, Bd. I. S. 826 ff.), wofern r den Halbmesser des Kreises, m die Masse und t die ganze Umlaufszeit des bewegten Körpers bedeutet. Dieser Ausdruck ist nun auch das Maß für die in jedem Punkte der kreisförmigen Bahn nach dem Mittelpunkte gerichtete Centripetalkraft, die der vorerwähnten, auf der Bahn des Körpers senkrecht stehenden Seitenkraft entspricht. Bezeichnet man die Centripetalkraft durch p, so hat man also $p = \frac{4\pi^2 r.m}{t^2}$, und eben so für einen anderen Körper, dessen Masse M, in einem Kreise vom Halbmesser R, $P = \frac{4\pi^2 R.M}{T^2}$.

Daher ist auch $P:p = \frac{MR}{T^2} : \frac{mr}{t^2}$.

Nun verhalten sich aber nach dem dritten Kepler'schen Gesetze die Quadrate der Umlaufszeiten der Körper (Planeten), die sich um denselben Centralpunkt (Sonne) bewegen, wie die Cubi der mittleren Abstände von diesem Cen-

*) Vergl. auch den Art. Naturwissenschaft, Bd. V. S. 24. 27 ff.

tralpunkte. Man hat also $T^2 : t^2 = R^3 : r^3$, und aus dieser Proportion in Verbindung mit der vorigen folgt $P : p = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$.

Die beschleunigende Ursache, welche die Körper nach dem Centralpunkt hintreibt und im Verein mit der aus der anfänglichen geradlinigen Bewegung resultirenden Tangentialkraft eine Bewegung dieser Körper um den Centralpunkt bewirkt, steht also mit dem Quadrate der Entfernung der bewegten Körper vom Centralpunkte im umgekehrten Verhältnisse.

Nun läßt sich auch umgekehrt, wie Newton gezeigt hat, aus der Annahme einer solchen nach dem Mittelpunkte der Sonne gerichteten und dem Quadrate der Abstände umgekehrt proportionalen Kraft darthun, daß die Planetenbewegung nach den Kepler'schen Gesetzen davon die nothwendige Folge ist.

Nimmt man an, daß $P : p = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$, daß also die Centripetalkräfte sich verhalten direct wie die Massen und umgekehrt wie die Quadrate der Abstände, so läßt sich z. B. leicht darthun, daß die Quadrate der Umlaufszeiten sich wie die Cubi der Entfernungen verhalten. Denn nach dem Obigen ist für die Bewegung in einer kreisförmigen Bahn $P : p = \frac{MR}{T^2} : \frac{mr}{t^2}$, daher auch $\frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2} = \frac{MR}{T^2} : \frac{mr}{t^2}$, oder $T^2 : t^2 = R^3 : r^3$.

Die Bewegung der Trabanten um ihre Planeten, z. B. des Mondes um unsere Erde, geschieht nun ebenfalls nach den Kepler'schen Gesetzen, so daß also auch der Mond in seiner krummlinigen Bahn durch eine nach dem Mittelpunkte der Erde gerichtete, dem Quadrate seines Abstandes von dem letzteren proportionale Kraft erhalten wird. Stellt C den Mittelpunkt der Erde und zugleich der Mondbahn AMD vqr (s. nebenstehende Figur), die wir der Einfachheit wegen als einen Kreis annehmen, so würde der Mond von A aus, wenn er nicht auch der Schwere unterworfen wäre, in der Richtung fortgehen, die er in A hatte, d. h. in der Richtung der Tangente AB, und würde z. B. nach Verlauf einer Minute in B angekommen sein; gehorcht er aber auch der Schwere, so wird er nach Verlauf dieser Minute nicht in B sich befinden, sondern in M, d. h. er wird zugleich um das Stück BM auf die Erde zu gefallen sein. Man kann nun näherungsweise den Bogen AM für eine gerade Linie ansehen, dann ist das Dreieck AMD rechtwinklig, in welchem man bekanntlich hat $BM = AE = \frac{AM^2}{AD}$.



Der Umfang der Erde beträgt nun etwa 40000000 Meter, dagegen derjenige der Mondbahn 2400000000, insofern der Halbmesser der Mondbahn gleich 60 Erdhalbmesser ist. Die Zeit, welche der Mond braucht, um diese seine Bahn zu beschreiben, beträgt 27 Tage, 7 Stunden und 43 Minuten, oder 39343 Minuten. Hieraus findet man, daß er in einer Minute einen Weg von

61000 Meter in seiner Bahn zurücklegt. Da ferner der Durchmesser der Mondsbahn etwa gleich 763950000 Meter ist, so erhält man durch Berücksichtigung dieser Werthe aus obiger Formel A E = 4,88 Meter für den Fallraum des Mondes gegen die Erde in einer Minute.

Wirkt nun die Schwere an der Erdoberfläche wirklich bis zum Monde fort, und kennt man das Gesetz, nach welchem die Schwere, deren Wirksamkeit und Intensität an der Erdoberfläche durch Beobachtungen über den freien Fall der Körper und namentlich durch Pendelbeobachtungen bekannt ist, mit der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde abnimmt, so kann man aus der bekannten Entfernung des Mondes von der Erde den Raum berechnen, durch welchen der Mond, vermöge der Schwere, in einer Minute nach der Erde hin fällt. Berechnet man nun diesen Raum unter der Voraussetzung, daß die Schwere an der Erdoberfläche im umgekehrten Verhältnisse mit dem Quadrate der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde steht, so muß der so erhaltene Fallraum gleiche Größe mit dem auf die obige Weise gefundenen haben. Nun beträgt der Fallraum der Körper an der Erdoberfläche in der Secunde etwa 4,90 Meter, und demgemäß, da der Mond 60 Mal weiter als diese Körper vom Mittelpunkte der Erde entfernt ist, der Fallraum des Mondes gegen die Erde $\frac{4,90}{60^2}$ in der Secunde, oder (nach der Formel $s = \frac{1}{2} g t^2$, wo $\frac{1}{2} g = 4,90$ ist) $\frac{4,90}{60^2} \cdot 60^2 = 4^m,90$ in der Minute. Es folgt also, daß der Mond, wenn er sonst keine Geschwindigkeit hätte, sich in einer Minute durch denselben Raum hin bewegen müßte, den irgend ein Körper an der Oberfläche der Erde in einer Secunde durchläuft.

Die Vergleichung des eben erhaltenen Werthes $4^m,90$ für den Fallraum des Mondes mit dem nach der obigen Formel (S. 798) gefundenen $4^m,88$ zeigt nur einen geringen Unterschied, welcher noch unbedeutender sein würde, wenn der Halbmesser der Mondbahn und die Umlaufszeit genauer angenommen wären, als es hier der Einfachheit wegen geschehen ist. Und sonach kann es keinem begründeten Zweifel unterliegen, daß die an der Erdoberfläche wirksame Schwere und die Ursache, welche den Mond in seiner Bewegung um die Erde erhält, identisch sind.

Das von Newton begründete Gravitationsgesetz drückt man nun auch häufig so aus, daß man sagt: „Die materiellen Theilchen aller Körper ziehen sich wechselseitig im directen Verhältnisse ihrer Massen und im umgekehrten des Quadrates ihrer Abstände an.“

Doch darf man in diesem Ausdruck des Gravitationsgesetzes nicht sofort die Behauptung einer unmittelbaren, durch den leeren Raum sich erstreckenden Wechselwirkung der Körper annehmen. Eine derartige Wechselwirkung ist keineswegs als Thatsache gegeben, vielmehr ist es sehr wohl möglich, daß das, was man Schwere und Gravitation nennt, durch ein besonderes Agens vermittelt wird *). Das Wort „Anziehung“ hat man hier zunächst nur in dem Sinne zu nehmen, daß es eine bewegende Ursache bezeichnet, welche sich auf je zwei Körper oder Körpertheilchen, die gegen einander gravitiren oder von denen man sagt, daß sie

*) Vergl. Art. Materie, Bd. IV. S. 926. 947 ff.

sich anziehen, zugleich und gleichmäßig bezieht, und denselben, indem sie fortwährend wirkt, Geschwindigkeiten mittheilt, die im umgekehrten Verhältnisse der Massen stehen.

Man nennt die Schwere oder überhaupt die Gravitation, insofern sie von der besonderen qualitativen Beschaffenheit der Körper unabhängig ist, auch die Massenanziehung, die man in ihrer Allgemeinheit auch daraus erkennt, daß ein Bleiloth in der Nähe großer Berge aus der verticalen Richtung abgelenkt wird, so wie auch durch einen Versuch mittelst der sogenannten Drehwage (s. Art. Erde, Bd. II. S. 907 ff. und Bd. I. S. 241. Art. Anziehung).

Die Anziehung nun, welche ein Körper von irgend einer Gestalt auf einen anderen ähnlichen oder zunächst auf einen materiellen Punkt ausübt, ist ein Gegenstand, mit welchem sich schon vor längerer Zeit die Mathematiker viel beschäftigt haben *).

Bezeichnen wir mit M die Masse eines Körpers, mit e die Entfernung des angezogenen Punktes von demselben, und durch k die Anziehung, welche die Masseneinheit in der Entfernung 1 auf den materiellen Punkt, dessen Masse gleich 1 sei, ausübt, so hat man für die Anziehung A des Körpers auf den Punkt in der Entfernung e die Formel $A = \frac{k M}{e^2}$.

Hat man nun eine gleichartige Kugel oder eine solche, die aus concentrischen Schichten zusammengesetzt ist, so geschieht, analytischen Betrachtungen zufolge, die Anziehung auf einen außer ihr liegenden Punkt eben so, als ob die ganze Masse der Kugel in ihrem Mittelpunkte vereinigt wäre.

Für eine Kugel vom Halbmesser r hat man das Volumen $\frac{4}{3}\pi r^3$, und falls ϱ die Dichte bezeichnet, die Masse $M = \frac{4\pi\varrho r^3}{3}$, also $A = \frac{4\pi\varrho k r^3}{3 e^2}$.

Befindet sich der Punkt innerhalb einer Hohlkugel, deren Schale mit Materie gleichmäßig erfüllt ist, so ist die Wirkung derselben auf den Punkt gleich Null, indem die von allen Theilchen der Kugelschale ausgehenden Kräfte, deren Wirksamkeit dem Quadrate der Entfernung vom Punkte umgekehrt proportional ist, sich gegenseitig aufheben oder am Punkte im Gleichgewichte halten. Dieses Resultat läßt sich auch durch eine einfache geometrische Betrachtung ableiten.

Dagegen ist die Anziehung einer soliden Kugel auf einen in ihrem Innern liegenden Punkt, der in der Entfernung α vom Mittelpunkte sich befindet, so beschaffen, als ob nur eine mit dem Halbmesser α beschriebene Kugel vorhanden und deren Masse in ihrem Mittelpunkte vereinigt wäre. Die ganze Kugel zerfällt

---

*) Newton, Principia philosophiae naturalis mathematica, Lib. I. Sect. 12 Sect. 13. — Lagrange, Nouv. Mém. de l'acad. de Berlin pour [illegible] 1773. Legendre, Mém. présentées à l'acad. roy. des sc. Tome 10. — [illegible] Mém. de l'acad. des sc. 1782. und Mécan. céleste. Livre 3; Système du monde. T. II. — [illegible], Phil. Transact. for 1809. — Poisson, Connaissance des Tems pour 1829; Traité de Mécan. 2. édit Deutsch von Stern Berlin 1835. I. S. 136 ff. — Gauss, Theoria attractionis corporum sphaeroidicorum ellipticorum homogeneorum methodo nova tractata. 1813. — Vergl. auch Schlömilch: der Attractionscalcül. Halle 1851.

hiernach in eine Kugel vom Halbmesser α und in eine Kugelschale, deren Wirkung auf den Punkt nach dem vorstehenden Satze gleich Null anzunehmen ist. Die Masse der wirksamen Kugel ist also in diesem Falle $= \frac{4}{3} \pi \varrho \alpha^3$, und demnach

$$A = \frac{4 \pi \varrho k \alpha^3}{3 \alpha^2} = \frac{4 \pi \varrho k \alpha}{3}.$$

Folglich ist die Anziehung einer soliden Kugel von gleichförmiger Dichte auf einen materiellen Punkt in ihrem Innern der Entfernung desselben vom Mittelpunkte der Kugel direct proportional.

Es ist hiernach selbstverständlich, daß die Anziehung einer solchen Kugel auf einen Punkt in ihrem Centrum gleich Null ist.

Die vorstehenden Sätze gelten auch noch für eine Kugel, die aus concentrischen Schichten besteht, von denen jede für sich homogen ist, während die Dichte von einer Schicht zur anderen veränderlich ist. Dieselben lassen sich auch näherungsweise auf homogene Sphäroide von sehr geringer Abplattung übertragen. Wegen des Näheren über die Anziehung der elliptischen Sphäroide müssen wir hier auf die oben angezeigten Schriften verweisen *). Die Anziehung eines Ellipsoids läßt sich als der allgemeinere Fall betrachten, so daß man aus den hierfür entwickelten Formeln die Anziehung einer homogenen Kugel leicht ableiten kann.

Wenn man bedenkt, daß die Anziehung, welche zwischen zwei materiellen Punkten statt hat, von der Art ist, daß der eine Punkt von dem anderen mit einer Kraft ergriffen wird, welche derjenigen gleich und entgegengesetzt ist, mit welcher er selbst auf den anderen wirkt, und so umgekehrt, so wie auch, daß je zwei materielle Punkte zweier homogener oder aus concentrischen Schichten zusammengesetzter Kugeln sich mit einer Kraft anziehen, die im directen Verhältniß der Massen und im umgekehrten des Quadrates ihrer Entfernung steht; so läßt sich leicht erkennen, daß auch zwei solche Kugeln so auf einander wirken werden, als ob die Masse einer jeden in ihrem Mittelpunkte vereinigt wäre.

Hat man zwei gegen einander gravitirende Körper, deren Massen M, m und Entfernung e, so ist die bewegende Kraft, die auf die Massen M und m wirkt, $\frac{k M m}{e^2}$, wo k wieder einen constanten Factor bezeichnet, der gleich der Kraft ist, mit welcher die als Einheit angenommene Masse auf eine ihr gleiche Masse in einer Entfernung, die gleich der Längeneinheit ist, wirkt.

Die bewegende Kraft $\frac{k M m}{e^2}$ theilt nun den Massen M und m in jedem Augenblicke Geschwindigkeiten mit, die diesen Massen umgekehrt proportional sind, so daß die beschleunigende Kraft der Masse M gleich $\frac{k m}{e^2}$ und die beschleunigende Kraft der Masse m gleich $\frac{k M}{e^2}$ ist.

Haben nun diese Körper keine anfängliche Geschwindigkeit, sondern sind sie lediglich ihrer Gravitation, die der obigen bewegenden Kraft entspricht, überlassen;

*) Vergl. auch Steiner in Crelle's Journ. Bd. XII.

so werden sie sich zu einander hin bewegen und in derselben Zeit Wege durchlaufen, die im umgekehrten Verhältnisse ihrer Massen stehen. Ist aber die Masse m sehr klein im Verhältnisse zu M, wie z. B. die Masse eines Planeten im Vergleich zur Masse der Sonne, so wird sich gewissermaßen nur der kleinere Körper nach dem größeren hin bewegen und jener sich zu diesem eben so verhalten, wie die Körper an der Oberfläche der Erde zu der letzteren.

Ist nun für einen Planeten, der eine Bewegung nach einer gewissen Richtung angenommen hat, seine scheinbare Bewegung um den festen Mittelpunkt der Sonne zu bestimmen, so hat man sich zu denken, daß der Sonne in jedem Augenblicke eine unendlich kleine Geschwindigkeit mitgetheilt werde, die derjenigen, welche von der Anziehung des Planeten herrührt, gleich, aber der Richtung nach entgegengesetzt ist. Damit jedoch die relative Bewegung beider Körper nicht geändert werde, hat man diese Geschwindigkeit zugleich dem Planeten mitzutheilen, oder eine beschleunigende Kraft an demselben anzubringen, welche der der Sonne gleich und der Richtung nach entgegengesetzt ist. Demnach wird bei dieser Bewegung die beschleunigende Kraft des Planeten, die stets nach der Sonne M gerichtet ist, der Summe der beiden beschleunigenden Kräfte $\frac{kM}{e^2}$ und $\frac{km}{e^2}$ gleich sein.

Der Planet bewegt sich in einer elliptischen Bahn um die Sonne, und aus den Gleichungen seiner Bewegung *), namentlich aus dem Ausdrucke für die Geschwindigkeit desselben an irgend einem Orte seiner Bahn, ergiebt sich leicht, daß die so eben betrachtete beschleunigende Kraft des Planeten, in der Einheit der Entfernung, nämlich $k(M + m) = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2}$ ist, wo T die Umlaufszeit des Planeten und a die halbe große Axe seiner elliptischen Bahn bezeichnet.

Aus dieser Gleichung folgt $\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{k(M + m)}$. (1)

Da das Verhältniß $\frac{T^2}{a^3}$ von m abhängig ist, so kann es nicht bei allen Planeten, deren Massen ungleich sind, genau dasselbe sein. Dennoch haben Beobachtungen gelehrt, daß dieses Verhältniß ein fast constantes ist, woraus denn ohne Zweifel folgt, daß die Massen der Planeten im Vergleich zur Masse der Sonne nur sehr klein sind. Und daher kommt es auch, daß die wechselseitige Gravitation der Planeten nur sehr langsame oder verhältnißmäßig nur unbeträchtliche Störungen in der elliptischen Bewegung hervorbringt, welche von der Gravitation der Sonne herrührt. Bezeichnet man nämlich die Massen zweier Planeten durch m und m', so hat man für die bewegende Kraft beider im Abstande e_1 den Ausdruck $\frac{k m m'}{e_1^2}$. Nun ist die beschleunigende Kraft von m, welche der Anziehung von m' entspricht, $\frac{k m'}{e_1^2}$, und da der Abstand e_1 im Verhältniß zum Abstande e des Planeten m von der Sonne nicht sehr klein ist, so erkennt man, daß

*) Vergl. Poisson: Traité de Mécan. 2. édit. Deutsch von Stern, Bd. I S. 343 ff.

falls m′ ein sehr kleiner Bruch von M ist, die durch die Anziehung der Sonne bedingte elliptische Bewegung von m durch die Anziehung von m′ nicht beträchtlich geändert werden kann.

Nach dem Vorstehenden ist die beschleunigende Kraft, welche von der Anziehung eines Planeten m′ auf den Planeten m herrührt und diesem letzteren zukommt, von der Masse m unabhängig und der Masse m′ proportional. Daher können denn auch die Störungen, welche von dieser Kraft herrühren und bei der elliptischen Bewegung von m um die Sonne beobachtet werden, dazu dienen, das Verhältniß der Masse m′ zu der Masse der Sonne zu bestimmen. Hat ein Planet einen oder mehrere Trabanten, so läßt sich auch dies benutzen, um die Masse des Planeten zu berechnen.

Ist m′ die Masse eines Trabanten und m die seines Planeten, e_1 aber der Abstand ihrer Mittelpunkte, so ist die hier in Betracht kommende bewegende Kraft bezüglich dieser beiden Körper $\frac{k\,m'\,m}{e_1^2}$. Und die beschleunigende Kraft des Trabanten in seiner scheinbaren Bewegung um den Planeten hat für die Einheit des Abstandes wieder den Werth $k\,(m' + m)$. Bezeichnet man nun noch die halbe große Axe der elliptischen Bahn des Trabanten durch a′ und durch T′ seine Umlaufszeit, so hat man, zufolge der Gleichung (1) S. 802, $\frac{T'^2}{a'^3} = \frac{4\,\pi^2}{k\,(m' + m)}$.

Verbindet man aber diese Gleichung mit der auf S. 802, so erhält man durch Elimination von k, $\frac{T^2}{T'^2} \cdot \frac{a'^3}{a^3} = \frac{m' + m}{M + m}$, wo M die Masse der Sonne ist.

Mit Rücksicht auf den Umstand, daß die Massen der Trabanten, mit Ausnahme des Mondes, sehr klein im Verhältniß zu denen ihrer Planeten sind, kann man in dieser Gleichung m′ gegen m vernachlässigen, so daß man also hat $\frac{T^2}{T'^2} \cdot \frac{a'^3}{a^3} = \frac{m}{M + m}$.

Newton fand auf diese Weise, daß die Masse des Jupiter etwa $\frac{1}{1067}$ der Masse der Sonne ist. Airy *) bestimmte dieselbe zu $\frac{1}{1047{,}68}$.

Die Anziehung, welche die Erde auf einen Punkt ihrer Oberfläche ausübt, läßt sich, wegen ihrer fast kugelförmigen Gestalt, näherungsweise $g = \frac{k\,m}{r^2}$ setzen, falls m ihre Masse, r ihren Halbmesser und k den bekannten constanten Factor bezeichnet. Wird nun diese Gleichung auf beiden Seiten mit der Gleichung (1) auf S. 802, welche wir jetzt auf die Bewegung der Erde um die Sonne beziehen, multiplicirt, so erscheint $\frac{m}{M + m} = \frac{g\,T^2\,r^2}{4\,\pi^2\,a^3}$, eine Formel, aus welcher sich das Verhältniß der Masse der Erde zu der der Sonne ableiten läßt.

*) Memoirs of the Roy. Astron. Society. Vol. VI. Vergl. auch Olbers in Harding's astronom. Ephemeriden für das Jahr 1834. S. 122 ff.

Den Werth der halben großen Axe a der Erdbahn kann man aus der Parallaxe der Sonne ermitteln. Diese Parallaxe (s. d. Art. Parallaxe) ist der kleine Winkel, welcher der Grundlinie eines rechtwinkligen Dreiecks gegenüberliegt, das den Halbmesser der Erde zur Grundlinie und den Abstand desselben von der Sonne zur Höhe hat. Die Größe der Parallaxe ändert sich mit dem Halbmesser der Erde und ihrem Abstande von der Sonne. Für den mittleren Abstand a und den Halbmesser r, der nach dem Parallelkreise gezogen ist, dessen Sinus der Breite $\sqrt{1/3}$ beträgt, ist ihr Werth 8″,60, so daß man hat $\frac{r}{a} = \text{tang} \,.\, 8'',60$, und

$a = (23984)\, r$ *).

Man hat aber unter demselben Parallelkreise, wenn man die Abplattung der Erde gleich $\frac{1}{290}$ setzt, $r = 6364551^m$; und die Zeit des Umlaufes der Erde um die Sonne, in Secunden ausgedrückt, ist $T = (86400)\,(365,256374)$.

Substituirt man diese Werthe in obiger Formel und setzt man darin noch für g den entsprechenden Werth (bezüglich jenes Parallelkreises) $= 9^m,81645$, so erhält man $\frac{m}{M} = \frac{1}{354592}$ oder $m = \frac{M}{354592}$ für die Masse der Erde im Verhältniß zur Masse der Sonne.

Nun hat es keine Schwierigkeit, das Verhältniß der mittleren Dichtigkeiten für die Sonne und Erde zu bestimmen, da man sowohl das Verhältniß der Volumina als auch das Verhältniß der Massen dieser beiden Körper kennt. Die mittlere Dichtigkeit der Sonne ist etwa der vierte Theil von derjenigen der Erde. An der Oberfläche der Sonne ist aber die Größe der Anziehung oder der Schwere gleich $\frac{kM}{R^2}$, falls R ihren Halbmesser bezeichnet, der 110 Mal so groß als der der Erde ist. Da also $R = 110\, r$, und, nach dem Obigen, an der Oberfläche der Erde $g = \frac{km}{r^2}$, so ist auch $\frac{kM}{R^2} = \frac{gM}{(110)^2 m} = (29,5)\, g$, wenn man den Werth des Verhältnisses $\frac{M}{m}$ berücksichtigt.

Die Umdrehungszeit der Sonne um ihre Axe beträgt 25,5 Tage, so daß die Centrifugalkraft an ihrem Aequator nur den sechsten Theil des Werthes hat, der dieser Kraft am Aequator der Erde zukommt. Sieht man deshalb von der Verminderung ab, welche die Schwere an der Oberfläche der Sonne durch die Centrifugalkraft erleidet, so ergiebt sich, daß an dieser Oberfläche das Gewicht eines Körpers $29^1/_2$ Mal so groß ist als das Gewicht desselben Körpers an der Oberfläche der Erde, und daß die Körper dort etwa 145 Meter in der ersten Secunde ihres Falles durchlaufen.

Das früher hervorgehobene Gesetz, daß die Schwere an der Erdoberfläche vom Aequator nach den Polen hin dem Quadrate des Sinus der geographischen Breite gemäß wächst, setzt eigentlich voraus, daß man die Verlängerung der sphäroidischen

---

*) Poisson: Traité de Mécan. 2. édit. Deutsch von Stern, Bd. I. S. 382 f.

Meeresfläche für die Oberfläche der Erde nimmt. Da jedoch die Orte des Festlandes, an welchen die Beobachtungen angestellt werden, in verschiedenen Höhen über der Meeresfläche liegen, so hat man die beobachteten Pendellängen auf diejenigen zu reduciren, welche auf jeder Verticallinie, an dieser Fläche selbst statt haben würden.

Bezeichnet man einen Punkt im Niveau des Meeres durch M und einen anderen in der Höhe h vertical darüber liegenden Punkt durch M′, so hat man, wenn man noch den Halbmesser der Erde $= r$, die Schwere im Punkte $M = g$ und die Schwere in $M' = g_1$ setzt, $g : g_1 = (r + h)^2 : r^2$, und hieraus $g_1 = g \left(\frac{r}{r + h}\right)^2$, oder, wenn man entwickelt und berücksichtigt, daß h nur klein gegen r ist, $g_1 = g \left(\frac{r^2}{r^2 + 2hr}\right)$, und hieraus für die Reduction der Schwere auf die Meeresfläche $g = g_1 \left(\frac{r^2 + 2hr}{r^2}\right) = g_1 \left(1 + \frac{2h}{r}\right)$.

Diese Correction ist jedoch um etwas zu groß.

Es sei die zwischen den Punkten M und M′ liegende, über die Meeresfläche sich erhebende Erdschicht um den Punkt M′ horizontal oder nahe senkrecht auf den Halbmesser der Erde in diesem Punkte. Auch werde von der Krümmung dieser Schicht und den Aenderungen ihrer Dicke abgesehen, so daß die letztere in der ganzen Ausdehnung der Schicht, in welcher diese einen merklichen Einfluß ausübt, eine constante Größe $= h$ sei. Denkt man sich nun diese Schicht in lauter horizontale, ringförmige Elemente von sehr geringer Höhe zerlegt, so kann man die Anziehung a_1 dieser Schicht auf den Punkt M′, falls die verticale Dicke derselben im Verhältniß zu ihrem horizontalen Durchmesser sehr klein ist, $a_1 = 2\pi k \varrho' h$ setzen, wo ϱ' die mittlere Dichte dieser Schicht, h ihre Dicke (Höhe) und k den mehrerwähnten constanten Factor bezeichnet *).

Ist nun a die Anziehung, welche auf den Punkt M durch die bis zur Meeresfläche reichende Erde ausgeübt wird, so hat man für die Anziehung der Erde auf den Punkt M′ den Ausdruck $\frac{a r^2}{(r + h)^2}$.

Es sei ferner g die Schwere am Punkte M und γ die der Schwere entgegenwirkende verticale Seitenkraft der Centrifugalkraft an demselben Punkte, während die entsprechenden Größen am Punkte M′ durch g_1 und γ_1 bezeichnet sein mögen. Dann ist $g = a - \gamma$, $g_1 = \frac{a r^2}{(r + h)^2} + a_1 - \gamma_1 = \frac{a r^2}{r^2 + 2hr} + a_1 - \gamma_1$, und wenn man g_1 von g abzieht und dabei die kleine Differenz $\gamma - \gamma_1$ vernachlässigt, $g - g_1 = \frac{2ah}{r} - a_1$.

In dem ersten Gliede dieser Formel läßt sich, weil der Bruch $\frac{h}{r}$ sehr klein ist, $a = g_1$ setzen. Auch kann man $g_1 = \frac{4\pi\varrho k r}{3}$ annehmen, wo ϱ die

*) Poisson: Traité de Mécan. 2. édit. Deutsch von Stern, Bd. I. S. 394 ff.

mittlere Dichte der Erde bezeichnet, deren Volumen $= \frac{4}{3}\pi r^3$ ist. Aus der eben aufgestellten Formel für g_1 folgt nun $k = \frac{3 g_1}{4 \pi \varrho r}$, und wenn man diesen Werth für k in der obigen Formel $a_1 = 2 \pi k \varrho' h$ substituirt, so folgt $a_1 = \frac{3 \varrho' h g_1}{2 \varrho r}$. Es ist demnach $g - g_1 = \frac{2 g_1 h}{r} - \frac{3 \varrho' h g_1}{2 \varrho r}$, oder $g = g_1 \left(1 + \frac{2 h}{r} - \frac{3 \varrho' h}{2 \varrho r}\right)$.

Mit diesem eingeklammerten Factor hat man nun die auf dem Festlande in einer Höhe h über der Meeresfläche beobachtete Schwere g_1 zu multipliciren, um sie auf diese Fläche zu reduciren.

Schätzt man die Dichte ϱ_1 auf die Hälfte von ϱ, so hat man als Reductionsformel $g = g_1 \left(1 + \frac{5 h}{4 r}\right)$.

Da die Schwere eine Kraft ist, welche fortwährend wirkt, so muß die Fallbewegung der Körper allerdings eine beschleunigte werden; allein die Körper können nicht mit gleichförmiger Beschleunigung fallen, weil dieselbe Kraft im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde abnimmt, und demgemäß ihre Wirkung mit der Annäherung der Körper an die Erde wächst. Es kann also auch der Zuwachs g der Geschwindigkeit während jeder Zeiteinheit, nämlich die Beschleunigung nicht im ganzen Verlaufe der Bewegung eine constante Größe sein. Dessen ungeachtet kann man die Schwere innerhalb gewisser Grenzen als eine constante Kraft, welche in gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeiten hervorbringt, und hiernach den Fall der Körper als eine gleichförmig beschleunigte Bewegung betrachten, wenn man nämlich bedenkt, daß die meisten Höhen, welche wir von der Oberfläche der Erde aus erreichen können, nur sehr kleine Größen im Vergleich zum Erdhalbmesser sind.

Schließlich bemerken wir noch, daß vor Newton schon Kepler*) das Gravitationsgesetz richtig ausgesprochen hat. Die Körper haben, wie er sagte, ein Bestreben, sich einander zu nähern, so zwar, daß zwei Körper, wenn sie nichts hinderte, im umgekehrten Verhältnisse ihrer Massen sich nach ihrem gemeinsamen Schwerpunkte hin bewegen würden. Daß er aber ungeachtet dieser richtigen Einsicht den Gegenstand nicht weiter verfolgte, leitet man aus dem zu seiner Zeit noch sehr unvollkommenen Zustande der Mathematik her. Auch Roberval**) und Fermat***), und besonders Hooke****), Wren und Halley hegten bezüglich der Gravitation richtige Ansichten; allein es war doch erst Newton, der das Gravitationsgesetz vollständig begründete und von demselben eine umfassende Anwendung machte, um die Bewegungserscheinungen der zum Sonnensysteme gehörigen Körper zu erklären. Die neueren astronomischen Untersuchungen haben

*) In der Einleitung zur astronomia nova αἰτιαλογητος, tradita commentariis de motu stellae martis.

**) Aristarchi Samii de mundi systemate lib. sing. Paris 1644.

***) Nach Mersenne, Harmon. universalis T. II. p. 12.

****) An Attempt to prove the Motion of the Earth 1674. Philosophical and Mathematical Dictionary cet. by C. Hutton. 1815. Vol. I. p. 186.

dieses Gesetz durchaus bestätigt, es gilt auch für die Bewegung der Kometen und Doppelsterne, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß es für alle Weltkörper Geltung hat.

Schwerpunkt. Da die meisten Körper, welche auf der Erdoberfläche vorkommen, nur sehr kleine Dimensionen im Vergleich zum Erdhalbmesser haben, so kann man die Richtungen der Schwere in der ganzen Ausdehnung eines solchen Körpers als unter einander parallel ansehen. Nun erstreckt sich die Wirkung der Schwere auf alle kleinsten Massentheilchen eines Körpers, so daß diese Theilchen alle von parallelen gleichen Kräften getrieben werden. Daher wird die Mittelkraft oder Resultirende dieser parallelen Kräfte, welche das Gewicht des Körpers ist, ihrer Summe gleich sein, und stets durch denselben Punkt des Körpers gehen. Und dieser Punkt, welcher also der Mittelpunkt der parallelen Kräfte ist (s. d. Art. Statik), heißt der Schwerpunkt des Körpers.

Es folgt nun hieraus sogleich, daß ein fester Körper, wenn er in seinem Schwerpunkte unterstützt wird, in allen Lagen im Gleichgewichte bleiben muß; denn die Resultirende aller einzelnen Wirkungen der Schwere wird dann stets durch seinen Schwerpunkt gehen und hier aufgehoben werden.

Nach dem Vorstehenden läßt sich das Gewicht eines Körpers als eine Kraft betrachten, welche im verticalen Sinne am Schwerpunkte desselben angebracht ist; und der Schwerpunkt ist eben der Punkt, in dem man sich das ganze Gewicht eines Körpers vereinigt denken kann. Hiernach bietet die Bestimmung des Schwerpunktes den Vortheil, daß man eine schwere Masse, von welcher Größe und Gestalt sie auch sein mag, gewissermaßen durch ihren Schwerpunkt repräsentiren oder als einen einzigen Punkt betrachten kann, so daß sich denn auch die Bahn eines bewegten Körpers als eine Linie ansehen läßt, welche sein Schwerpunkt beschreibt.

Hängt man einen festen Körper mittelst eines Fadens auf, so muß die Richtung des letzteren vertical sein und gehörig verlängert durch den Schwerpunkt des Körpers gehen. Befestigt man den Faden eben so an einem anderen Punkte des Körpers, so muß seine Verlängerung abermals durch den Schwerpunkt gehen. Beide Verlängerungen werden sich also im Schwerpunkte des Körpers schneiden. Auf diese Weise läßt sich praktisch in verschiedenen Körpern die Lage des Schwerpunktes bestimmen. Oder man verfährt wohl auch so, daß man den Körper auf einer Flüssigkeit schwimmen läßt, wo dann die durch seinen Schwerpunkt gehende Linie senkrecht auf der horizontalen Ebene ist, in welcher die Oberfläche der Flüssigkeit ihn berührt. Indessen ist die Bestimmung des Schwerpunktes eine Aufgabe, zu deren vollständiger Lösung die Hülfe der höheren mathematischen Analysis nöthig ist, obschon in mehreren Fällen auch ganz einfache geometrische Betrachtungen genügen.

Wenn man sich nun einen Körper in eine beliebige Anzahl von Theilen getheilt denkt, deren Gewichte und Schwerpunkte bekannt sind, so kann man hieraus nach der Theorie der parallelen Kräfte (s. d. Art. Statik) die Lage des Schwerpunktes vom ganzen Körper bestimmen. Sind nämlich $p, p', p'', \ldots$ die Gewichte der verschiedenen Theile des Körpers, und P das ganze Gewicht des letzteren, so hat man $P = p + p' + p'' + \ldots$

Sind nun x, y, z die Coordinaten des Schwerpunktes des Theils, dessen Gewicht p, x', y', z' die des Schwerpunktes in dem Theile, dessen Gewicht p' ꝛc.;

so hat man, wenn man durch x_1, y_1, z_1 die Coordinaten des Schwerpunktes des ganzen Körpers bezeichnet, folgende Gleichungen:

$$P x_1 = p x + p' x' + p'' x'' + \ldots .$$
$$P y_1 = p y + p' y' + p'' y'' + \ldots .$$
$$P z_1 = p z + p' z' + p'' z'' + \ldots .$$

aus denen sich die Werthe von x_1, y_1, z_1 bestimmen lassen, wodurch man denn auch die Lage des Schwerpunktes erfährt.

Da die Gewichte den Massen proportional sind, so kann man anstatt der Gewichte p, p', ... auch die entsprechenden Massen m, m', m'', ... setzen. Es ist dann, wenn man die Masse des ganzen Körpers durch M bezeichnet, $M = m + m' + m'' + \ldots$, und

$$\left.\begin{array}{l} M x_1 = m x + m' x' + m'' x'' \ldots . \\ M y_1 = m y + m' y' + m'' y'' \ldots . \\ M z_1 = m z + m' z' + m'' z'' \ldots . \end{array}\right\} \quad (1)$$

Man erkennt nun leicht, daß der Schwerpunkt von der Intensität der Schwere durchaus unabhängig und überall im Raume, wo sich auch der Körper befinden mag, derselbe Punkt ist, und nur von der Masse und deren Vertheilung abhängt, weshalb ihn denn auch mehrere Mathematiker, so namentlich Euler, den Mittelpunkt der Masse oder der Trägheit genannt haben.

Sind alle Theile eines Körpers gleichartig, so stehen ihre Massen im directen Verhältnisse mit ihren körperlichen Inhalten, und man kann dann in den obigen Gleichungen an die Stelle der Massen M, m, m', ... die Volumina V, v, v', ... setzen. Die Werthe von x_1, y_1, z_1 geben alsdann den Schwerpunkt des Volumens, d. h. den Mittelpunkt der parallelen Kräfte, die man sich an alle Punkte des Körpers angebracht denken kann. In demselben Sinne spricht man von dem Schwerpunkte einer Oberfläche und einer Linie, indem man sich alle Punkte derselben von parallelen Kräften, die den Elementen der Fläche und Linie proportional sind, ergriffen denkt. Und so kann man denn auch in den obigen Gleichungen (1) anstatt der Volumina den Inhalt der Oberfläche und ihrer Theile, oder die Länge einer Linie und ihrer Theile einführen.

In den obigen Gleichungen (1) sind die Werthe x_1, y_1, z_1, welche die Lage des Schwerpunktes des ganzen Körpers bestimmen, veränderlich mit den Werthen von x, y, z ꝛc., je nachdem man diese Coordinaten auf den einen oder anderen Punkt der Massen m, m', ... bezieht. Denkt man sich dagegen den Körper in unendlich viele, unendlich kleine Theile getheilt, so läßt sich in einem jeden solchen Theilchen jeder beliebige Punkt als sein Schwerpunkt ansehen, und die Summen der unendlich kleinen Glieder auf der rechten Seite der obigen Gleichungen (1) werden dann zu bestimmten Integralen. Eben so ist es, wenn es sich um die Bestimmung des Schwerpunktes einer Linie, einer Fläche oder eines Volumens handelt.

Es sei nun, um mit der Bestimmung der Schwerpunkte von Linien den Anfang zu machen, s der Bogen einer krummen Linie. Das Differentialelement dieser Linie, auf drei zu einander rechtwinklige Coordinaten x, y, z bezogen, bezeichnen wir, wie gewöhnlich, durch ds. Die Länge des bestimmten Theils der krummen Linie, dessen Schwerpunkt zu ermitteln ist, sei l, und a und b seien die Werthe von s, welche den Endpunkten von l entsprechen. Die Coordinaten

des Schwerpunktes von l, d. h. die Abstände dieses Schwerpunktes von den Ebenen der Coordinaten yz; xz und xy mögen wieder x_1, y_1, z_1 heißen. Man hat dann auf Grund der obigen Gleichungen (1)

$$l x_1 = \int_a^b x\, ds, \quad l y_1 = \int_a^b y\, ds, \quad l z_1 = \int_a^b z\, ds.$$

Wenn die krumme Linie in einer Ebene liegt, deren Ordinaten x und y sind, so wird $z = o$, und man hat nur noch $l x_1 = \int_a^b x\, ds$, $l y_1 = \int_a^b y\, ds$.

Ist aber die krumme Linie überdies noch durch eine gerade Linie in zwei symmetrische Theile getheilt, so daß in dieser Geraden der Schwerpunkt liegt, so ist auch noch $y = o$, und man hat zur Bestimmung des Schwerpunktes nur die Gleichung $l x_1 = \int_a^b x\, ds$, und für die Endpunkte des Bogens l ist dann $a = -\, {}^1/_2\, l$ und $b = +\, {}^1/_2\, l$.

Man habe beispielsweise einen Kreisbogen; der Durchmesser, der durch seine Mitte geht, sei die Axe der x, und der Anfangspunkt der Coordinaten liege im Mittelpunkte des Kreises vom Halbmesser r. Man hat dann $x = r \cdot \cos \cdot \frac{s}{r}$, und $l x_1 = \int_{-\frac{1}{2} l}^{\frac{1}{2} l} x \cdot ds = r^2 \cdot \sin \cdot \frac{s}{r} + C = 2 r^2 \sin \cdot \frac{l}{2 r}$, oder, wenn man die Sehne des Bogens l durch c bezeichnet, $c = 2 r \sin \frac{l}{2 r}$, folglich $l x_1 = r c$, und $x_1 = \frac{r c}{l}$.

Der Abstand x_1 des Schwerpunktes eines Kreisbogens vom Mittelpunkte des Kreises ist also die vierte Proportionale zu dem Halbmesser, der Sehne und dem Bogen; oder es ist $x_1 : r = c : l$.

In ähnlicher Weise läßt sich der Schwerpunkt eines cycloidischen Bogens, welcher vom Durchmesser des erzeugenden Kreises in zwei gleiche Hälften getheilt wird, bestimmen. Der Schwerpunkt eines solchen Bogens liegt in dem genannten Durchmesser, und zwar in der Entfernung von ${}^1/_3$ seiner Länge, von der Spitze des Bogens an gerechnet.

Für eine Curve, die in einer Ebene liegt, ist $ds = \sqrt{dy^2 + dx^2}$, daher $l = \int_a^b \sqrt{(dy^2 + dx^2)}$; und zur Bestimmung der Coordinaten x_1, y_1 des Schwerpunktes hat man dann

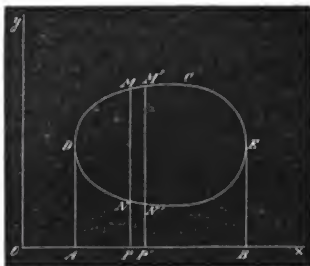
$$l x_1 = \int_a^b x \sqrt{dy^2 + dx^2}, \quad l y_1 = \int_a^b y \sqrt{dy^2 + dx^2}.$$

Der Schwerpunkt einer gegebenen geraden Linie liegt in deren Mitte, was sich leicht mittelst der aufgestellten Gleichungen ableiten läßt. Es ist aber auch selbstverständlich, daß der Mittelpunkt der gleichen parallelen Kräfte, welche an sämmtlichen Elementen der geraden Linie angebracht sind, mit dem Mittelpunkte der letzteren zusammenfallen muß.

Um allgemeine Ausdrücke zur Bestimmung der Schwerpunkte von Ober-

flächen zu gewinnen, denke man sich die Fläche DEC (s. beistehende Fig. I.) in unendlich kleine Elemente MNN′M′, die der Axe Oy parallel sind, zerlegt. Der Abscisse OP = x entsprechen die Ordinaten PM = y und PN = y′. Die Länge der Linie MN ist = y — y′, und der Inhalt des Flächenelementes MNN′M′ ist (y — y′) dx, und der ganzen Fläche $\lambda = \int (y - y') dx$. Der Schwerpunkt dieses Elements läßt sich in seiner Mitte annehmen, und der Abstand desselben von der Axe Ox ist $= \frac{1}{2}(y + y')$. Daher kann man diesen Abstand und x als die Coordinaten des Schwerpunktes dieses Elementes ansehen, so daß man in Analogie mit den früheren Gleichungen hat

I.



$$\lambda x_1 = \int_a^b (y - y') x dx,\ \lambda y_1 = \int_a^b \tfrac{1}{2}(y - y')(y + y') dx = \int_a^b \tfrac{1}{2}(y^2 - y'^2) dx.$$

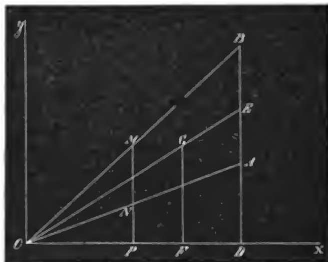
Sollte die Fläche unten durch die Abscissenaxe Ox begrenzt sein, so ist y′ = o, und die obigen Formeln verwandeln sich in folgende:

$$\lambda = \int_a^b y dx,\ \lambda x_1 = \int_a^b y x dx,\ \lambda y_1 = \tfrac{1}{2} \int_a^b y^2 dx.$$

Als nächstes Beispiel bietet sich die Fläche eines Dreiecks dar.

Die Spitze O (s. beistehende Fig. II.) des Dreiecks AOB sei der Anfangspunkt der Coordinaten, und die Axe Ox senkrecht auf der Grundlinie AB = B des Dreiecks, dessen Höhe OD = H ist. Zieht man nun MP senkrecht auf Ox und setzt die Abscisse OP = x, so hat man die Proportion MN : x = B : H, folglich $MN = \frac{Bx}{H}$.

II.



Es ist aber auch $\lambda = \frac{1}{2}$ BH.

und $\lambda x_1 = \int_a^b \frac{Bx}{H} . x dx$, wenn man berücksichtigt, daß MN gleich dem obigen (y — y′) ist.

Da die Grenze a = o ist und b = H, so hat man

$$\lambda x_1 = \int_a^b \frac{B}{H} x^2 dx = \tfrac{1}{3} BH^2.$$

Daher $x_1 = \frac{2}{3} H$.

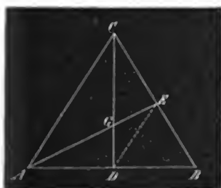
Und dieser Werth von x_1 genügt hier, um die Lage des Schwerpunktes zu bestimmen.

Man nehme hiernach auf OD einen Theil $OF = \frac{2}{3} OD = x_1$, und ziehe die Gerade FG senkrecht auf OD; dann ist der Punkt G, in welchem sie die Linie OE trifft, der Schwerpunkt des Dreiecks. Es ist aber auch, da die Linien OD und OE durch die Linie FG in proportionale Theile getheilt werden, $OG = \frac{2}{3} OE$.

Man sieht also, daß der Schwerpunkt eines Dreiecks auf der geraden Linie liegt, welche die Spitze mit der Mitte der Grundlinie verbindet, und zwar so, daß er $\frac{2}{3}$ dieser Linie von der Spitze, oder $\frac{1}{3}$ derselben von der Grundlinie entfernt ist.

Der Schwerpunkt eines Dreiecks läßt sich auch auf folgende Weise, ohne Hülfe der Integralrechnung, finden.

Man verbinde die Spitze C (s. beistehende Figur) durch eine Gerade mit der Mitte der Seite AB. Dann liegen die Schwerpunkte aller Linien, die sich der AB parallel ziehen lassen, auf der Linie CD, weil sie alle von dieser halbirt werden. Demnach liegt auch der Schwerpunkt des Dreiecks selbst in der Linie CD. Verbindet man eben so den Punkt A mit der Mitte der Seite CB, so liegen wieder die Schwerpunkte aller mit CB parallelen Linien auf der Geraden AE, also auch der Schwerpunkt des Dreiecks, welcher mithin der Lage nach durch den Durchschnittspunkt G der Linien CD und AE bestimmt ist. Zieht man noch die Gerade DE, welche mit AC parallel sein wird, so ist wegen der ähnlichen Dreiecke ACG, DGE und ACB, DEB:



$$CG : GD = AC : DE \text{ und } AC : DE = CB : EB = 2 : 1.$$

Daher auch

$$CG : GD = 2 : 1 \text{ und } CD : GD = 3 : 1,$$

mithin

$$GD = \tfrac{1}{3} CD.$$

Hiernach läßt sich nun auch der Schwerpunkt eines beliebigen Vielecks finden, wenn man es in Dreiecke zerlegt und von jedem Dreieck den Schwerpunkt bestimmt. Die Gewichte der einzelnen Dreiecke, d. h. die Resultirenden der an ihren sämmtlichen Punkten angebrachten parallelen Kräfte wirken an den Schwerpunkten dieser Dreiecke wieder als parallele Kräfte, von denen sich die Resultirende bestimmen läßt, womit zugleich der Schwerpunkt des Vielecks gefunden ist.

Man wird leicht erkennen, daß der Schwerpunkt eines Parallelogramms im Durchschnittspunkte seiner beiden Diagonalen, der Schwerpunkt des Kreises und der Ellipse im Mittelpunkte der Figur liegt.

Den Schwerpunkt eines Kreisausschnittes ACB (s. umstehende Figur) kann man finden, wenn man sich den letzteren in lauter dreieckige Elemente zerlegt denkt, indem man den Bogen AB als Theil eines Vielecks von unendlich vielen gleichen Seiten betrachtet. In einem jeden solchen Dreiecke ist der Abstand

des Schwerpunktes von der Spitze C gleich $^2/_3$ des Radius. Bezeichnet man nun den letzteren durch r, und zieht mit $^2/_3$ r den Bogen A′D′B′, so liegen in diesem die Schwerpunkte aller dreieckigen Elemente, und der gemeinsame Schwerpunkt der letzteren ist auch der Schwerpunkt dieses Kreisbogens. Der Abstand des Schwerpunktes eines Kreisbogens vom Mittelpunkte des Kreises ist aber die vierte Proportionale zum Radius r, der Sehne c und dem Bogen l. Dies gilt nun auch hier für den Bogen A′D′B′, nur daß man $^2/_3$ der eben erwähnten Größen zu nehmen hat. Es ist also der Abstand des Schwerpunktes eines Kreisausschnittes vom Mittelpunkte des Kreises $= {}^2/_3 \frac{rc}{l}$, oder auch $= {}^2/_3 \frac{\sin \alpha}{\alpha}$, wenn man die Hälfte des Winkels ACB $= \alpha$ setzt, wo dann $c = 2 r \sin \alpha$ und $l = 2 r \alpha$ ist.



Der Schwerpunkt eines Kreisabschnittes ADBE (s. beistehende Figur) läßt sich nunmehr auch leicht finden. Der Flächeninhalt des Ausschnittes ACBD sei $= F$, der Inhalt des Dreiecks ACB $= F'$ und der des Abschnittes ADBE $= F''$. Die Schwerpunkte aller dieser Flächen liegen gewiß auf dem Radius CD, der den Bogen AB halbirt. Denkt man sich nun an diese Schwerpunkte parallele Kräfte angebracht, die F, F′, F″ proportional sind, so ist die Kraft am Schwerpunkte von F die Resultirende der Kräfte an den Schwerpunkten von F′ und F″. Die Abstände dieser Schwerpunkte von C seien resp. x, x', x_1. Dann hat man rücksichtlich der Momente der hier in Betracht kommenden Kräfte $Fx = F'x' + F''x_1$.

Nun ist ferner $F = {}^1/_2 r l$, $x = {}^2/_3 \frac{rc}{l}$, und, wenn die Höhe CE des Dreiecks ACB $: = h$ gesetzt wird, so ist $F' = {}^1/_2 c h$, und $x' = {}^2/_3 h$.

Wird nun noch berücksichtigt, daß $F'' = F - F' = {}^1/_2 (r l - c h)$, so hat man für die Gleichung jener Momente

$$ {}^1/_2 r^2 c = {}^1/_3 c h^2 + {}^1/_2 (r l - c h) x_1 ,$$

woraus sich der Abstand x_1 des Schwerpunktes des Abschnittes ADBE vom Mittelpunkte des Kreises ergiebt.

Da überdies $c = 2 r \sin \frac{l}{2r}$, und $h = r \cdot \cos \frac{l}{2r}$, so folgt

$$x_1 = \frac{4 r^2 \sin^3 \frac{l}{2r}}{3 \left(l - r \cdot \sin \frac{l}{r}\right)}.$$

Hat man $l = \pi r$, so verwandelt sich der Abschnitt in die halbe Kreisfläche, so daß dann $x_1 = \frac{4 r}{3 \pi}$ ist.

Beiläufig bemerken wir hier noch, daß der Schwerpunkt einer zwischen zwei parallelen Sehnen c und c′ eingeschlossenen Fläche $= \lambda$ vom Mittelpunkte des Kreises um eine Länge $= \frac{(c^3 - c'^3)}{12 \lambda}$ absteht.

Hat man eine Fläche, welche zwischen zwei Kreisbogen von den Radien r und r' liegt, so ist der Abstand des Schwerpunktes dieser Fläche vom Mittelpunkte des Kreises, wenn man den halben Centriwinkel durch α bezeichnet, $= {}^2/_3 \dfrac{r^2 + r r' + r'^2}{r + r'} \cdot \dfrac{\sin\alpha}{\alpha}$.

Blicken wir hier noch einmal zurück auf die Fig. I. S. 810, und denken wir uns die krumme Linie D E C um die Axe O x gedreht, so entsteht ein sogenannter Rotationskörper, dessen Volumen man durch den Flächeninhalt der erzeugenden Oberfläche und durch den Weg, welchen der Schwerpunkt dieser Oberfläche beschreibt, ausdrücken kann. Der unendlich kleine Theil des Volumens, welcher durch das Element M N N' M' der Fläche erzeugt wird, ist nämlich gleich der Differenz der beiden Cylinder, deren Halbmesser $PM = y$ und $PN = y'$ sind, und deren gemeinsame Höhe $= dx$ ist. Man hat also für das Differentialelement des Volumens $\pi y^2 dx - \pi y'^2 dx$, und hiernach für das Volumen des Rotationskörpers $V = \pi \int_a^b (y^2 - y'^2)\, dx$.

Es ist aber nach einer Gleichung auf S. 810: $2\lambda y_1 = \int_a^b (y^2 - y'^2)\, dx$, also auch $V = 2\pi\lambda y_1$.

Daher ist das Volumen eines Körpers, welcher durch die Fläche λ einer ebenen krummen Linie auf die oben angezeigte Weise entsteht, gleich dem Producte aus dieser Fläche in den Umring $2\pi y_1$ des Kreises, welchen ihr Schwerpunkt beschreibt.

Diese Regel ist auch noch anwendbar, wenn die erzeugende Oberfläche nicht von einer geschlossenen krummen Linie begrenzt, sondern von zwei verschiedenen krummen Linien und zwei Linien, die auf der Axe der Figur senkrecht stehen, eingeschlossen ist; doch darf die Axe nicht zwischen den beiden krummen Linien hindurchgehen.

Nimmt man als Beispiel einen Halbkreis, der sich um seinen Durchmesser dreht, so erhält man als Rotationskörper eine Kugel. Der Schwerpunkt des Halbkreises steht aber vom Durchmesser oder von der Drehungsaxe um $\dfrac{4r}{3\pi}$ ab, falls r den Halbmesser bezeichnet; daher ist die Länge des vom Schwerpunkte beschriebenen Kreises $= \dfrac{8r}{3}$. Die Fläche des Halbkreises ist $= {}^1/_2 \pi r^2$, also erhält man $V = \dfrac{4\pi r^3}{3}$ als bekannten Ausdruck für das Volumen der Kugel.

In ähnlicher Weise, wie das Volumen, läßt sich auch der Inhalt einer Rotationsfläche bestimmen, welche durch die Drehung einer ebenen krummen Linie um eine in ihrer Ebene enthaltene Gerade entsteht, indem man nämlich die Länge der erzeugenden krummen Linie mit dem Umringe multiplicirt, den ihr Schwerpunkt während der Erzeugung der Oberfläche beschreibt.

Diese Regeln zur Bestimmung des Inhalts von Oberflächen und Körpern kannte schon Pappus *) und Guldin **).

*) Praef. ad Lib. VII. Collect. Math.
**) De centro Gravitatis. Vind. 1635.

Will man die Gleichungen (1) S. 808 zur Bestimmung des Schwerpunktes der Volumina und Körper verwenden, so denke man sich einen beliebigen Körper von der Masse M in unendlich kleine Theile getheilt, und bezeichne, wie gewöhnlich, das Differentialelement der Masse, welches den Coordinaten x, y, z entspricht, durch dm. Jene Gleichungen werden hier zu dreifachen Integralen, so daß man hat

$$M x_1 = \iiint x\,dm,\; M y_1 = \iiint y\,dm,\; M z_1 = \iiint z\,dm. \qquad (a)$$

Bezeichnet man durch ϱ die Dichtigkeit des Elements dm und durch dv sein Volumen, so ist $dm = \varrho\,dv$.

Denkt man sich den Körper durch Ebenen, die den Coordinatenebenen parallel sind, in unendlich kleine rechtwinklige Parallelepipeda zerlegt, so ist das Differentialelement dv des Volumens $= dx\,dy\,dz$.

Für einen durchaus gleichartigen Körper hat man $M = \varrho V$, und man kann in den Gleichungen (a) V für M und dv an die Stelle von dm setzen, so daß man also hat

$$V x_1 = \iiint x\,dv,\; V y_1 = \iiint y\,dv,\; V z_1 = \iiint z\,dv.$$

Diese Gleichungen gelten auch noch, wenn der Körper in der Art ungleichartig ist, daß er aus endlichen homogenen Theilen besteht, und sich die Dichtigkeit also nur von einem dieser Theile zum anderen ändert. Ist dagegen die Dichtigkeit des Körpers in unmerklichen Graden von einer Stelle zur anderen veränderlich, so ist ϱ eine Function von x, y, z, und man wendet die obigen Gleichungen (a) zur Bestimmung der Coordinaten x_1, y_1, z_1 des Schwerpunktes an.

Die Coordinaten x, y, z können auch, und zwar in manchen Fällen mit Vortheil, durch die Polarcoordinaten des Elements dm ersetzt werden. Wir wollen jedoch diesen Gegenstand, dessen weitere Entwickelung ins Gebiet der analytischen Mechanik gehört, hier nicht weiter verfolgen, sondern statt dessen vielmehr den Schwerpunkt verschiedener Körper, dessen Ermittelung nicht immer dreifache Integrale erfordert, seiner Lage nach bestimmen.

Gesetzt, wir hätten eine dreiseitige Pyramide, durch die parallel mit der Grundfläche ein Schnitt gelegt sei. Der Flächeninhalt dieses Schnittes werde durch X bezeichnet, der Inhalt der Grundfläche sei = B, und die senkrechte Entfernung der letzteren von der Spitze = h. Nennt man nun noch x den senkrechten Abstand des Schnittes X von der Spitze der Pyramide, so hat man $X : B = x^2 : h^2$, also $X = \frac{B x^2}{h^2}$.

Das Differentialelement des Volumens der Pyramide läßt sich $= X\,dx$ setzen. Ist nun V das ganze Volumen und x_1 der Abstand des Schwerpunktes von der Spitze, so hat man $V = \int X\,dx$, $V x_1 = \int x X\,dx$.

Wird in diese Formeln der Werth von X eingeführt, so ist

$$V = \int \frac{B x^2}{h^2}\,dx = \frac{B x^3}{3 h^2} + C, \text{ und } V x_1 = \int \frac{B x^2}{h^2}\,x\,dx = \frac{B x^4}{4 h^2} + C.$$

Nimmt man nun diese Integrale zwischen den Grenzen o und h, so ist $V = \frac{B h}{3}$, $V x_1 = \frac{B h^2}{4}$, also $x_1 = {}^3/_4\,h$.

Denkt man sich durch den Schwerpunkt eine mit der Grundfläche parallele Ebene gelegt, so wird durch die letztere sowohl die Höhe h, als auch die Linie, welche die Spitze mit der Grundfläche der Pyramide verbindet, in proportionale Theile getheilt; und der Schwerpunkt der Pyramide ist hiernach um $^3/_4$ dieser Linie von der Spitze oder um $^1/_4$ von der Grundfläche entfernt.

Dasselbe gilt von dem Schwerpunkte eines Kegels.

Auch auf folgende Weise findet man den Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide.

Man verbinde die Spitze B mit dem Schwerpunkte E des gegenüberstehenden Dreiecks ADC (s. beistehende Figur). Auf der Geraden BE liegen dann die Schwerpunkte aller mit ADC parallelen Dreiecke, und daher auch der Schwerpunkt der Pyramide. Verbindet man aber den Eckpunkt A mit dem Schwerpunkte F des Dreiecks DBC, so enthält die Linie AF wieder die Schwerpunkte aller mit DBC parallelen Dreiecke, welche sich, wie die vorigen, als die Elemente der Pyramide betrachten lassen. Es muß also auch der Schwerpunkt der Pyramide auf der Geraden AF liegen, und seine Lage ist durch den Durchschnittspunkt G der Linien BE und AF gegeben. Zieht man EF und AH, so ist in den ähnlichen Dreiecken EGF, ABG und EHF, ABH : BG : GE = AB : EF, AB : EF = BH : FH = 3 : 1, weil F der Schwerpunkt des Dreiecks BDC. Folglich auch BG : GE = 3 : 1, und BE : GE = 4 : 1, oder GE = $^1/_4$ BE.



Nun läßt sich auch der Schwerpunkt einer beliebigen vielseitigen Pyramide bestimmen, wenn man sie in dreiseitige Pyramiden zerlegt. Der Schwerpunkt der ganzen Pyramide liegt wieder auf der Geraden, welche die Spitze mit dem Schwerpunkte der Grundfläche verbindet; seine Entfernung von der letzteren beträgt gleichfalls $^1/_4$ dieser Linie.

Der Schwerpunkt eines Kugelausschnittes ergiebt sich aber in ähnlicher Weise wie der Schwerpunkt eines Kreisausschnittes. Wie wir uns nämlich oben den Kreisausschnitt in unendlich kleine Dreiecke zerlegt dachten, so denke man sich jetzt den Kugelausschnitt in unendlich kleine Pyramiden zerlegt, deren Schwerpunkte alle auf der Grundfläche eines concentrischen Ausschnittes liegen, dessen Halbmesser $^3/_4$ von dem des gegebenen Ausschnittes ist. Der Schwerpunkt des Letzteren ist aber der Schwerpunkt der Grundfläche des concentrischen Ausschnittes, und hiermit seiner Lage nach bestimmt.

Und in ähnlicher Weise, wie man den Schwerpunkt eines Kreisabschnittes aus den Schwerpunkten des entsprechenden Kreisausschnittes und eines Dreiecks bestimmt, kann man auch den Schwerpunkt eines Kugelabschnittes aus den bekannten Lagen der Schwerpunkte des zugehörigen Kugelausschnittes und eines Kegels ermitteln.

Ist nun bei einem Kugelabschnitte der Halbmesser der Grundfläche r′, die

Höhe bis zum Scheitel h, so hat man für den Abstand des Schwerpunktes von der Grundfläche $x = \frac{1}{2} h \frac{2r'^2 + h^2}{3r'^2 + h^2}$.

Geht der Abschnitt in die Halbkugel über, so ist $r' = r$ und eben so $h = r$, d. h. gleich dem Halbmesser der Kugel; und folglich $x = \frac{3}{8} r$.

Es versteht sich fast von selbst, daß der Schwerpunkt einer gleichartigen Kugel und eines Ellipsoides im Mittelpunkte der Figur, der Schwerpunkt eines geraden Prisma und Cylinders in der Mitte der Axe, und endlich der Schwerpunkt eines Parallelepiped's im Durchschnittspunkte seiner vier Diagonalen liegt.

Hat man eine abgekürzte dreiseitige Pyramide, deren untere Grundfläche = a, die obere = b, und wo der senkrechte Abstand beider von einander = h ist, so liegt der Schwerpunkt von der unteren Grundfläche in einem Abstande $x = \frac{1}{4} h \frac{a + 2\sqrt{ab} + 3b}{a + \sqrt{ab} + b}$.

Für einen abgekürzten Kegel hat man $a = \pi r^2$, wenn r den Halbmesser der unteren Kreisfläche, und $b = \pi r'^2$, falls r' den Halbmesser der obern Kreisfläche bezeichnet; und daher $x = \frac{1}{4} h \frac{r^2 + 2rr' + 3r'^2}{r^2 + rr' + r'^2}$.

Hat man ein Konoid, welches durch die Umdrehung eines elliptischen Bogens um die große Axe der Ellipse entstanden ist, und bezeichnet man die halbe große Axe der Ellipse durch a, die halbe kleine Axe derselben durch b, und durch h die Höhe des Konoids; so ist der Abstand des Schwerpunktes des letzteren von der Spitze oder vom Scheitel $= \frac{h}{4} \cdot \frac{8a - 3h}{3a - h}$.

Ist aber das Konoid durch Umdrehung des elliptischen Bogens um die kleine Axe entstanden, so hat man für den Abstand des Schwerpunktes dieses Konoids vom Scheitel $\frac{h}{4} \cdot \frac{8b - 3h}{3b - h}$.

Für ein parabolisches Konoid von der Höhe h ist der Abstand des Schwerpunktes vom Scheitel $= \frac{2}{3} h$.

Ueber die Gleichgewichtsverhältnisse unterstützter schwerer Körper vergleiche man den Art. Statik.

Schwerspath (schwefelsaurer Baryt, BaO, SO^3), ein Mineral, das sehr häufig in der Natur vorkommt. Der Schwerspath zog zuerst im Anfange des 17. Jahrhunderts die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf sich in Folge seiner Eigenschaft zu phosphoresciren, wenn er mit verbrennlichen Substanzen geglüht wird. Da diese Eigenthümlichkeit 1602 zu Bologna von einem Schuster entdeckt wurde, so erhielt der Leuchtstein (lapis solaris) den Namen Bologneser oder Bononischer Stein und der Schwerspath wurde deshalb auch Bologneserstein oder Bologneserspath genannt. — Die chemische Natur dieses Minerales blieb lange Zeit unbekannt. Marggraf entdeckte zuerst 1750, daß darin Schwefelsäure enthalten sei. Die Baryterde erkannte zwar Scheele 1774, aber daß diese die Basis im Schwerspath ausmache, entdeckte Gahn 1775.

Der Schwerspath krystallisirt im ein- und einaxigen System. Die Grundform ist eine rhombische Tafel, deren Winkel 101° 42′ mißt. Nächst dieser kommt vorzüglich eine rhombische Säule von 102° 17′ vor, an welcher die Randflächen jener Tafel eine auf die scharfen Seitenkanten aufgesetzte Endzuschärfung bilden; dann auch eine andere rhombische Säule von 105° 24′, welche an der vorigen eine auf die stumpfen Seitenkanten aufgesetzte Endzuschärfung bildet. Außerdem treten die Krystalle noch in vielen anderen mehr verwickelten Combinationen auf. Vollkommen spaltbar parallel den Flächen, welche die Zuschärfung der scharfen und die Abstumpfung der stumpfen Seitenkanten bilden. Härte = 3 — 3,5. Von dem bedeutenden specifischen Gewicht (4,3 — 4,7) ist der Name Schwerspath abgeleitet. Außer in Krystallen kommt der Schwerspath auch noch strahlig, faserig in kugeligen, traubigen, nierenförmigen Massen, derb mit körnigem Gefüge oder dicht, so wie auch staubartig eingesprengt oder als Ueberzug vor. Oft ist die Baryterde darin in wechselnden Mengen durch Strontianerde ersetzt.

Vor dem Löthrohr schnell erhitzt decrepitirt der Schwerspath; er schmilzt nur an den äußersten Kanten, färbt die Flamme gelblich, und wenn Strontian darin ist, roth. Auf der Kohle läßt er sich nur sehr schwer zu Schwefelbaryum reduciren. Mit Soda schmilzt er zu einer blauen Masse. In Wasser und Säuren ist er unlöslich; nur concentrirte Schwefelsäure löst ihn auf; bei der Verdünnung mit Wasser scheidet sich jedoch der schwefelsaure Baryt wieder ab. Der Schwerspath bildet gemeinhin den Ausgangspunkt für die Darstellung der Baryterde und der Barytsalze.

Der Schwerspath kommt ziemlich allgemein verbreitet als Begleiter der Erze auf den Erzgängen im älteren Gebirge, so im Erzgebirge, Harz, in Böhmen, Ungarn, Tyrol und auch außerhalb Deutschland vor. Die schönsten Krystalle findet man zu Przibram in Böhmen, zu Felsöbanye in Ungarn und Alstonmore in England.

Während der Schwerspath früher nur zur Verfälschung des Bleiweißes diente, hat er in neuester Zeit als sogenanntes Permanent-Weiß (blanc fixe) als Wasserfarbe bei der Fabrikation der Tapeten, des bunten Papieres, der Karten ꝛc. eine große Bedeutung erlangt. Da der natürliche Schwerspath nur zuweilen farblos, aber auch dann nicht blendend weiß, meistens aber röthlich oder grau gefärbt vorkommt, so wird das Barytweiß oder der schwefelsaure Baryt künstlich dargestellt, zumeist aus Schwerspath. Dieser wird durch Glühen mit Kohle in Schwefelbaryum verwandelt, dieses in Salzsäure aufgelöst und das Chlorbaryum durch verdünnte Schwefelsäure oder durch die Lösung eines schwefelsauren Salzes zersetzt. Weniger umständlich ist die Bereitung aus Witherit (kohlensaurem Baryt), der direct in Salzsäure gelöst wird. Und doch kommt das Permanent-Weiß auf letzterem Wege höher zu stehen, dafür aber ist es schöner und glänzender weiß und bedarf beim Auftragen weniger Leimung.

Beachtenswerth ist der Vorschlag von Wagner *), das Barytweiß als Nebenproduct bei der Fabrikation der Stearinsäure zu gewinnen. Da Schwefelbaryum bei seiner Lösung in Wasser in BaO, HO und BaS, HS zerfällt, so kann man eine klare Lösung desselben statt des bisher gebräuchlichen Kalkes zum Ver-

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 132.

seifen des Talges oder Palmöles verwenden. Die Verseifung geschieht hier weit schneller als nach dem alten Verfahren. Wegen des sich reichlich entwickelnden Schwefelwasserstoffes muß diese Operation freilich in geschlossenen Kesseln oder Bottichen vorgenommen werden. Das Schwefelwasserstoffgas kann verbrannt und die sich bildende schweflige Säure zur Darstellung von Antichlor (schwefligsaurem Natron) benutzt werden. Doch muß die Schwefelbaryumlösung stets frisch bereitet werden, denn sonst bildet sich Baryumpolysulfuret und dieses giebt wieder Veranlassung zur Bildung von Verbindungen der fetten Säuren, die, wegen ihres Schwefelgehaltes, beim Brennen der Kerzen schweflige Säure entwickeln würden. Die Seife wird durch Salzsäure zersetzt und aus der Chlorbaryumlösung der schwefelsaure Baryt wie gewöhnlich abgeschieden. Anstatt der jetzt gebräuchlichen 15 Proc. Kalk hätte man 45,3 Proc. Schwefelbaryum anzuwenden, welche 62,43 Proc. Barytweiß geben.

Die Farbe des Barytweiß ist so blendend, wie man sie auf keine andere Weise erzielen kann; dabei ist das Barytweiß indifferent gegen jede Einwirkung der Luft, des Lichtes und der Temperatur. Durch Schwefelwasserstoffgas wird es nicht dunkel gefärbt und dabei hat es in mehreren Schichten dünn mit Leimlösung aufgetragen eine Deckkraft, welche der des reinsten Kremserweißes am nächsten steht. Bei über 50 Proc. niedrigeren Gestehungskosten und bei dem geringeren specifischen Gewicht ist bei der Anwendung desselben der Preis kaum ein Drittel gegen den des Bleiweißes. Dabei bietet das Barytweiß den wesentlichen Vortheil, daß es sowohl mit als ohne Glanzpräparat (Talk) durch die Bürste einen sonst unerreichbaren Satinglanz annimmt, der der Feuchtigkeit widersteht. Dieser Farbe verdanken wir die blendendweißen Satintapeten, die jetzt zu erstaunlich billigen Preisen im Handel vorkommen. Desgleichen ist diese Farbe für Anstreicher, Zimmermaler, Stuccaturarbeiter ꝛc. ein sehr schätzbares, aber wegen seiner Neuheit noch wenig bekanntes Material. So z. B. auf glatter Kalk- oder Gypswand, mit leichter Leimung, einige Mal dünn aufgetragen, alsdann mit einer dichten Bürste oder einem Leinenballen abgerieben, entsteht eine haltbare, brillante Glanzfläche in schneeweißer Farbe, welche mit jedem Lackanstriche auf Holz concurriren kann. Ganz besonders eignet sich das Barytweiß wegen seiner Neutralität und Unzersetzbarkeit auch zu Farbemischungen. Die Töne sind ganz rein; namentlich erzielt man hellrosa und hellblau von einer Zartheit, die früher unbekannt war.

Zu Oelanstrichen eignet sich das Barytweiß nicht; es deckt gar nicht, so daß der Anstrich aus einer durchsichtigen Kruste besteht. Dagegen kann dem Bleiweiß eine beträchtliche Menge von feingemahlenem Schwerspath zugesetzt werden, ohne dessen Deckkraft wesentlich zu schwächen. Dieser Zusatz ist daher nicht allein nicht schädlich, sondern bietet noch mancherlei Vortheile. Ein mit Schwerspath versetzter Bleiweißanstrich wird nicht so sehr gelb und hält sich in der Luft weit besser als ein reiner Bleiweißanstrich; und dann würden die Kosten auch geringer sein. Wenn wir oben den Schwerspathzusatz eine Verfälschung nannten, so liegt der Grund darin, daß die Fabrikanten solchen verheimlichen und die Waare als reines Bleiweiß verkaufen. Wie weit dieser Unfug um sich gegriffen hat, ersieht man daraus, daß von 14 verschiedenen Bleiweißsorten, die in Darmstadt und Mainz untersucht wurden, nur eine einzige frei von Schwerspath und durchaus rein war und dieses reine Bleiweiß kostete pro Centner 1,7 Thlr. weniger als eine andere stark mit Schwerspath vermischte Sorte. Man weiß nicht, ob man sich

mehr über die Unverschämtheit der Fabrikanten oder über die Dummheit der Abnehmer wundern soll, denn nichts ist leichter als diesen groben Betrug zu entdecken. Während sich reines Bleiweiß in verdünnter Salpeter- oder Essigsäure vollständig auflöst, bleibt der Schwerspath völlig ungelöst. W. B.

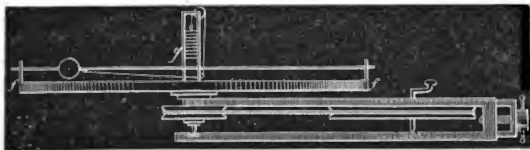
Schwimmen, s. Statik tropfbarflüssiger Körper.

Schwingungen, s. Pendel und Wellenbewegung.

Schwungkraft, s. Bewegung, Bd. I. S. 826.

Schwungmaschine, Centrifugalmaschine nennt man eine Vorrichtung, welche dazu dient, um die Wirkungen der Centrifugal- oder Schwungkraft zu veranschaulichen. Zu den gebräuchlichsten Arten derselben gehört unter anderen eine von Ferguson *) angegebene, besonders aber die Vorrichtung von Desaguliers **), welche von Nairne verbessert wurde.

Die Haupttheile der Centrifugalmaschine sind zunächst zwei Scheiben oder Räder, von denen das eine, welches einen doppelt so großen Umfang als das andere hat, vermittelst einer Kurbel gedreht werden kann. Diese Bewegung überträgt sich durch ein Seil auf die andere Scheibe, welche sich doppelt so schnell umdreht. Die eiserne Axe dieser Scheibe steht in einer Pfanne, und an derselben Axe ist eine Scheibe ff (s. beistehende Figur) von mindestens 3 Fuß Durchmesser angebracht, die sich zugleich mit der darunter befindlichen kleineren Scheibe umdreht. In der Mitte der Scheibe ff ist eine verticale Säule befindlich, die oben



eine Rolle trägt und in deren Innerem Gewichte (in der Form kreisförmiger Plättchen) liegen, welche durch einen Haken gehalten werden. Von diesem Haken geht ein seidener Faden über die eben erwähnte Rolle nach einer unten angebrachten Rolle und von da nach einer Kugel, welche auf einer polirten Metallstange verschiebbar ist. Man kann auf beiden Seiten dieser Kugel einen Faden befestigen, und jeden Faden über eine kleine Rolle gehen lassen, um sie dann vereinigt über die obere Rolle zu führen. Setzt man nun die Scheibe ff, während das Gewicht g unten aufliegt, in Rotation, so wird sich die Kugel vom Mittelpunkte der Scheibe entfernen und das Gewicht bei einer hinreichenden Umdrehungsgeschwindigkeit und einer dieser letzteren entsprechenden Centrifugalkraft gehoben werden, so daß man auf diese Weise die Größe dieser Kraft gewissermaßen messen kann. Auch läßt sich dies zur Bestätigung der Formel für die Centrifugalkraft im Kreise $F = \frac{M v^2}{r}$ benutzen, wo M die Masse des Körpers ist, der sich mit

*) Lectures on Mechanics lect. 2.
**) Cours de Phys. T. I. p. 330.

der Geschwindigkeit v im Kreise vom Halbmesser r bewegt. Bezeichnet man durch P das Gewicht des Körpers und durch g, wie gewöhnlich, die Intensität der Schwere, so hat man auch $\frac{M v^2}{r} = \frac{P v^2}{g r}$.

Schiebt man auf die Metallstange der Scheibe ff zwei durchbohrte Kugeln, die durch einen Faden mit einander verbunden sind, so, daß sie sich in ungleichen Entfernungen und auf entgegengesetzten Seiten vom Mittelpunkte der Scheibe befinden, so wird sich während der Drehung der Scheibe die entferntere Kugel vom Mittelpunkte fortbewegen und die andere Kugel nach sich ziehen, falls der Faden nicht reißt (s. beistehende Figur). Bei gleicher Masse ist nämlich die Schwungkraft



der entfernteren Kugel größer als die der näheren. Haben aber die Kugeln ungleiche Gewichte oder Massen m und m', und sind ihre Entfernungen vom Mittelpunkte der Scheibe r und r', so bleiben sie während der Drehung in Ruhe, wenn sich ihre Massen umgekehrt wie ihre Entfernungen vom Mittelpunkte verhalten, wenn also $m : m' = r' : r$ oder $m r = m' r'$ ist.

Befestigt man im Mittelpunkte der Scheibe ff oder auch, falls diese Scheibe fehlt, unmittelbar auf der Mitte der darunter befindlichen kleineren Scheibe eine verticale Axe, die unten mit einer elastischen kreisförmig gebogenen Stahlfeder in fester Verbindung steht, während die Axe oben frei durch ein Loch der Feder hindurchgeht; so wird die Feder, wenn die Scheibe mit hinreichender Geschwindigkeit gedreht wird, eine abgeplattete Gestalt annehmen, und zwar in der Richtung der verticalen Umdrehungsaxe, und um so mehr, je schneller die Drehung von Statten geht. Auf diese Weise kann man sich die durch die Schwungkraft bewirkte Abplattung der Erde versinnlichen.

Es seien auf der Scheibe ff in verschiedenen Entfernungen von der Mitte Vertiefungen angebracht. Legt man nun in die letzteren Kugeln, so werden diese, wenn man die Scheibe schnell genug dreht, in den Richtungen der Tangenten der betreffenden kreisförmigen Bahnen abfliegen, und zwar in der Ordnung, in welcher sie, von der äußeren Kugel angerechnet, vom Mittelpunkte der Scheibe entfernt sind.

Wenn auf der Scheibe ff eine gegen dieselbe geneigte Glasröhre, in der sich Quecksilber und Wasser befinden, angebracht ist, so wird das Quecksilber im Zustande der Ruhe den unteren Raum der Röhre einnehmen; setzt man aber die Scheibe in schnelle Rotation, so gelangt das Quecksilber, dem ein größeres Bewegungsmoment als dem Wasser zukommt, vermöge der Schwungkraft in den oberen Theil der Röhre.

Man fülle eine Glaskugel, die sich auf die Scheibe ff schrauben läßt, zum Theil, etwa bis zur Hälfte, mit mehreren Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewichte, und zwar mit solchen, die sich nicht mit einander mischen, also etwa mit Quecksilber, Wasser und dergleichen mehr. Dann werden diese Flüssigkeiten im Zustande der Ruhe nach ihrem specif. Gewichte in horizontalen Schichten

über einander liegen; wird aber die Scheibe in schnelle Umdrehung gesetzt, so bilden die Flüssigkeiten in Folge der Schwungkraft concentrische Ringe, in der Art, daß die schwerste Flüssigkeit, das Quecksilber, am weitesten nach außen liegt, während die Luft, als der leichteste Körper, den innern Raum einnimmt.

Bei der Centrifugal-Trockenmaschine, die man gebraucht, um nasses Zeug möglichst schnell lufttrocken zu machen, sind an einer horizontalen Dreharе auf den entgegengesetzten Seiten derselben zwei aus Metallgeflecht bestehende und in einen Kasten eingeschlossene Körbe, in die man das betreffende Zeug legt, befestigt. Bringt man nun die Are durch eine Kurbel, die mit ihr vermittelst eines Räderwerkes in Verbindung steht, in rasche Rotation, so bewegt sich das Wasser, vermöge der Schwungkraft, aus dem Zeuge heraus.

Bezüglich der Centrifugal-Pumpen sehe man den Artikel Pumpe, Bd. V. S. 510.

Schließlich sei noch bemerkt, daß man einen von Bohnenberger angegebenen Apparat, der manche mit der Schwungkraft in Beziehung stehende Erscheinungen, welche bei der Drehung eines Körpers um eine sogenannte freie Are vorkommen, versinnlicht, wohl mitunter auch mit dem Namen einer Schwungmaschine bezeichnet. Dieser Apparat findet sich beschrieben im Artikel Are, Bd. I. S. 652.

Seecompaß, s. Compaß.

Seegesicht, s. Luftspiegelung.

Seen heißen die größeren, rings vom Lande eingeschlossenen, mit dem Meere (Ocean) nicht in unmittelbarer Verbindung stehenden Wasseransammlungen der Erde. Die Ost- und Nordsee rechnet man hiernach nicht zu den Seen, wohl aber z. B. das kaspische und todte Meer. Die größten unter den Seen werden nämlich auch Meere genannt, während man den Ocean bekanntlich auch die See nennt.

Man findet die Seen nicht nur in den ebenen, sondern häufig auch in den gebirgigen Gegenden, und zwar in beträchtlichen Höhen über der Meeresfläche. Der Mont-Cenis hat unweit seines höchsten Punktes in 6000 Fuß Höhe einen See, der eine halbe franz. Meile lang ist, und eben so liegt auf dem großen Bernhard ein See von etwa 4000 Meter Umfang. Auf dem Mont-Perdu liegt ein See in 2540 Meter Höhe, der Mica bei Antisana ist 4000 Meter und der See von Mexico 7000 Fuß über der Meeresfläche erhaben. Im Allgemeinen ist der Norden reicher an Seen als der Süden. Durch große und tiefe Seen zeichnen sich das nördliche Rußland, die skandinavische Halbinsel, Schottland, die Schweiz und Nordamerika aus. In der afrik. Provinz Bornu befindet sich ein See, Tsaad, der eine Länge von 90 franz. Meilen hat. Der Bärensee in Nordamerika ist 150 Meilen lang, 120 breit und hat bei 45 Faden noch keinen Grund. Die Größe der Seen in den Vereinigten Staaten *) ist nach engl. Meilen (von denen $4^1/_2$ auf eine geogr. Meile gehen) und deren Tiefe nach engl. Fuß folgende:

*) Quarterly Journ. of Sci. New. Ser. N. X. p. 432.

Namen	Länge	Breite	Tiefe
Ontario	180 Meilen	40 Meilen	1000 Fuß
Erie	270 „	60 „	400 „
Huron	250 „	100 „	1800 „
Michigan	400 „	50 „	—
Green Bay	105 „	20 „	—
Superior (Obere See)	480 „	109 „	1800 Fuß

Die Oberfläche des Kaspischen Sees rechnet man zu 7000 Quadratmeilen. Und die größten Seen Europas sind der Ladoga und Onega in Rußland, von denen jener 320, dieser 195 Quadratmeilen groß ist.

Die Seen empfangen ihr Wasser und geben dasselbe ab, theils auf eine äußerlich sichtbare, theils auf eine nicht in die Augen fallende Weise.

Es giebt Seen, welche einen sichtbaren Zu- und Abfluß haben. Geräth nämlich ein Fluß in seinem Laufe in eine kesselförmige Vertiefung, so kann er diese von der einen Seite her ausfüllen und auf der anderen wieder daraus abfließen. Dies geschieht fast bei allen Seen in den Thälern der großen Gebirgsketten oder in den benachbarten Ebenen. So der Genfersee mit der Rhone, der Bodensee mit dem Rhein, der Thuner See mit der Aar, der Waldstätter und Züricher See mit der Limmat, der Lago Maggiore mit dem Tessin ꝛc.

Ein oder mehrere Flüsse können sich aber auch in einer Vertiefung so ausbreiten, daß der Zufluß und der Verlust an Wasser durch Verdunstung sich das Gleichgewicht halten, wie man denn auch leicht einsieht, daß die Verdunstung um so reichlicher ausfallen muß, je mehr sich das Wasser innerhalb der Vertiefung zu einer größeren Fläche ausdehnt. In diesem Falle hat nun der See einen sichtbaren Zufluß, aber keinen Abfluß. Hierher gehören die sogenannten Binnenseen. Das kaspische Meer nimmt die großen Flüsse Emba, Ural, Wolga, Kuma, Terek, Kur, Sefyroud, Aster und Tetschien auf, und verliert sein Wasser vorzüglich durch Verbreitung desselben in den Steppengegenden vermittelst der Verdunstung. Die frühere Vermuthung, daß unterirdische Canäle aus demselben einen Abfluß in das schwarze Meer gewährten, ist vollständig widerlegt, da man gefunden hat, daß sein Spiegel tiefer als der des schwarzen Meeres liegt. Auch wurde zwischen dem asowschen und kaspischen Meere ein Nivellement durch G. Fuß, Sadler und Sawitsch ausgeführt, wornach die Depression (Vertiefung) des kaspischen Meeres im Mittel 81,3 engl. oder 76,3 Par. Fuß beträgt *). Der Aralsee, welcher drei große und viele kleine Flüsse aufnimmt, gehört gleichfalls hierher; und eben so ist es mit dem todten Meere, in welches der Jordan, Kedron, Arnon und Jared fließen. Nach einem Nivellement des englischen Lieutenants Seymond **) liegt der Spiegel des todten Meeres 1231 Par. Fuß unter dem Spiegel des mittelländischen Meeres. Dem todten Meere in jeder Beziehung sehr ähnlich soll der See Urmia oder Schiramihu in Persien sein, welcher aus 14 Flüssen sein Wasser erhält und keinen Abfluß hat, also nur durch Verdunstung verliert.

---

*) Bullet. scientif. de l'Acad. de St. Petersb. T. II. p. 254; T. III. p. 27. 117. 366; T. IV. p. 241. Sawitsch: Ueber die Höhe des kaspischen Meeres und der Hauptspitzen des caucasischen Gebirges. Dorpat 1839. Pogg. Ann. Ergänz. Hft. S. 352.

**) Edinb. New phil. Journ. N. LXVII. p. 178.

Wenn dagegen eine wasserreiche Quelle oder deren mehrere in einer kesselförmigen Vertiefung hervortreten, so wird das Wasser die letztere so weit ausfüllen, bis es einen Abfluß findet. Auf diese Weise entstehen Seen mit einem Abfluß, aber ohne sichtbaren Zufluß, wie man sie meist in den Hochthälern großer Gebirgsketten, jedoch auch hier und da auf dem flachen Lande findet.

Endlich giebt es auch noch Seen ohne sichtbaren Zufluß und ohne sichtbaren Abfluß, deren Ursprung darin zu suchen ist, daß Regen- und Schneewasser, und wohl auch Quellwasser in den Kratern erloschener Vulkane oder in alten Erdfällen, oder aber in einfachen Vertiefungen des Bodens mit thoniger Grundlage zusammenläuft. Diese Seen sind meist klein, und ihr Wasserstand ist von dem Wechsel der atmosphärischen Niederschläge sehr abhängig.

Manche Seen trocknen auch oder leeren sich zu gewissen Zeiten mehr oder weniger vollständig aus und füllen sich dann nach einiger Zeit wieder. Viel Seltsames wurde in dieser Beziehung vom Czirknitzer See erzählt, der im Herzogthume Krain, nicht weit vom Adelsberge liegt. Während der trocknen Jahreszeit sollte das Wasser durch unterirdische Canäle und Schlünde nach und nach so gänzlich abfließen, daß der Boden ganz trocken und nach wenigen Wochen in eine fette Weide verwandelt werde, welche eine Menge Landthiere herbeiziehe u. dergl. m. Gegen den Winter hin fange der See auf einmal wieder an, sich zu füllen, und zwar geschehe dies viel schneller, als zuvor das Ablaufen erfolge. Das meiste Wasser komme aus zwei großen Höhlen des an der Südseite gelegenen Berges Jawornik, welche durch eine Menge Seitenklüfte mit anderen Höhlen im Innern des Gebirges zusammenhängen sollen. Parrot erklärte diesen See für eine großartige intermittirende Quelle, mit Rücksicht auf den Umstand, daß der See von einer Menge Höhlen umgeben ist, dergleichen es in den Kalkgebirgen Krains so viele giebt. Nach anderen genaueren Beobachtungen *) soll derselbe aber nur ein gewöhnlicher Landsee sein, der sein Wasser von den benachbarten Bergen empfängt, und dessen Wasserstand von der Nässe und Trockenheit der Jahre abhängt. Bei plötzlichen Regengüssen in der Umgegend schwillt er schnell an. — Als ein Seitenstück zu diesem Czirknitzer See, obwohl in kleinerem Maßstabe, betrachtet man gewissermaßen den Eichner See im Großherzogthum Baden, unweit des Fleckens Eichen im Treisamkreise. Auf dem Boden dieses Sees, erzählt man, befinden sich eine Menge kleiner Löcher, durch welche das Wasser zuweilen so gänzlich abläuft, daß nur in der Mitte ein Schlammgrund übrig bleibt, der übrige Grund aber als Wiese und zum Getreidebau benutzt werden kann. Zu anderen Zeiten soll das Anschwellen dieses Sees so stark sein, daß er 8 bis 10 Juchart Landes einnimmt.

Die Tiefe der Seen ist sehr verschieden, steht aber mit ihrer horizontalen Ausdehnung nicht im Verhältniß; dagegen nimmt man im Allgemeinen an, daß Seen mit hohen, steilen Ufern tiefer sind als solche mit flachen Ufern. So haben die nordamerikanischen Seen ungeachtet ihrer beträchtlichen Oberflächenausdehnung eine verhältnißmäßig geringe Tiefe. Auch der kaspische See ist in seiner nördlichen Hälfte weniger tief als in seiner südlichen, wo er an einen steilen Gebirgs-

*) Gruber's Briefe hydrographischen und physikalischen Inhaltes aus Krain, 5. bis 12. Br.

abfall grenzt. — Die europäischen Alpenseen haben im Verhältniß zu ihrer horizontalen Ausdehnung beträchtliche Tiefen. Die größte Tiefe des Genfersees ist etwa 950 Fuß, des Vierwaldstätter 900 Fuß, die des Brienzer soll 1000 Fuß und die des Zuger 1200 Fuß betragen; die Tiefe des Bodensees rechnet man zu 850 Fuß.

Viele Seen zeichnen sich durch eine ausnehmende Klarheit ihres Wassers aus. So z. B. hat der Wettersee in Schweden so helles Wasser, daß sich ein Stück Geld auf dem Boden in einer Tiefe von 126 Fuß erkennen läßt, und Carver fand den Oberen See bei ruhigem Wetter und Sonnenschein so durchsichtig, daß er in freier Luft zu schweben glaubte, und nicht lange in die Tiefe zu sehen vermochte, ohne schwindlig zu werden. Das Wasser des Bärensees erschien so hell, daß ein Stück weißen Tuches auf 90 Fuß Tiefe noch sichtbar blieb *).

Viele Landseen, die klares Wasser haben, zeigen die Farbe des reinen Wassers mit einer schwach bläulichen Färbung, die jedoch nicht selten, wie beim Meerwasser und mitunter noch schöner als bei diesem, ins Grüne spielt. Manche Gebirgsseen zeigen auch ein prachtvolles Azurblau. Die Tiefe eines Sees ist übrigens auf die Farbe seines Wassers von Einfluß. Dieselbe kann so bedeutend sein, daß die Lichtstrahlen den Grund des Sees entweder gar nicht oder doch nur in sehr geringer Menge treffen, so daß die von ihm reflectirten Lichtstrahlen absorbirt werden, ehe sie wieder zur Oberfläche gelangen. Die Oberfläche des Sees stellt dann im ruhigen Zustande einen ruhigen Spiegel dar, der die Farbe des blauen (wolkenlosen) Himmels zeigt. Wenn dagegen die Lichtstrahlen den Grund des Sees in größerer Menge treffen, so werden sie von ihm auch ins Auge reflectirt, und das Wasser kann uns dann in der Farbe des Grundes erscheinen, jedoch modificirt durch das reflectirte Blau des Himmels. Natürlich muß hiernach die Farbe bei mehr oder weniger bedecktem Himmel eine andere sein. Allein auch die Winde haben einen Einfluß auf die Farbe des Seewassers. So erscheint sie bei Stürmen mehr grau, bei heftigem Winde, der die Oberfläche nur kräuselt, mehr grau- oder silberweiß. Andere Modificationen werden durch erdige und vegetabilische Substanzen bewirkt.

Wenn man indessen dem Meerwasser eine eigenthümliche Farbe zuschreibt (s. Art. Meer, Bd. IV. S. 993 ff.), in der Art, daß es das auffallende Licht in einem bestimmten Verhältnisse absorbirt und reflectirt, so daß dann die reflectirte Farbe des Meerwassers die blaue ist; so muß dies im Wesentlichen wohl auch vom Seewasser gelten, das diese Farbe dann ebenfalls erst bei größeren Massen in auffälliger Weise zeigen kann. Zu dieser durch Absorption und Reflexion bewirkten eigenthümlichen Farbe des Seewassers gesellen sich dann noch unter Umständen die bereits angeführten Modificationen, namentlich die von der größeren oder geringeren Tiefe des Sees abhängigen hinzu.

Die meisten Seen haben süßes Wasser, doch giebt es auch viele mit salzigem Wasser, aus denen zum Theil Kochsalz gewonnen wird. Besonders reich an Salzseen ist der nordöstliche Theil von Asien. Der Grjäsnoge-Osero, östlich vom Jaik, welcher 20 Werste im Umfang hat, erzeugt am Rande und auf dem Boden in trocknen Jahreszeiten eine Salzrinde von Fingersdicke. Noch ergiebiger an

*) Vergl. Bibl. univ. 1830. Avril. Jackson: Observations on lakes etc. Lond. 1833.

Salz ist der Inderskesche See, 80 Werste im Umfange, welcher viele Flüßchen von gesättigter Soole aufnimmt. Der Alton-See im Astrachanschen erzeugt so viel Salz in Schichten, welche weggebrochen werden, daß im Sommer meistens tausend Menschen dabei arbeiten *). Auch in Amerika **) und Europa (namentlich in Siebenbürgen) giebt es Salzseen. Im Mansfeldschen existirt ein See, der eine Meile lang und eine halbe breit ist, und einen Salzgehalt etwa wie die Ostsee hat; derselbe soll mit einem anderen, eine halbe Meile entfernten, Süßwassersee in Verbindung stehen.

Bemerkenswerth sind noch manche Seen in Sibirien, die nach Pallas früher süßes Wasser hatten, und jetzt salzig sind, z. B. der Tschubareth. Man hat dies daraus abzuleiten gesucht, daß diese Seen Salzquellen aufnehmen, während das süße Wasser verdunstet. Nach Strabo enthielten auch die gegenwärtig bitteren Seen des Isthmus von Suez früher süßes Wasser.

Andere Seen enthalten kohlensaures Natron, so namentlich in Aegypten und Ungarn (Debreczin).

Unter die merkwürdigsten Seen gehört das todte Meer, welches gegen 12 Meilen lang und in der Mitte 3 Meilen breit, selbst in der Umgegend durch schreckliche Oede ein Bild des Todes giebt. Den Eingang zu demselben macht ein Salzthal, worin sich ein mächtiges Salzlager befindet, aus welchem an mehreren Stellen große Salzblöcke hervorragen. Dort holen die Araber Salz, welches nebst Asphalt die einzige nutzbare Substanz jener Gegend ist. Doch findet sich auch etwas Schwefel. Der See hat weder Pflanzen noch Fische, und nur eine kleine Gattung Krebse soll darin leben. Sein Wasser ist klar und geruchlos, aber sehr salzig, und hat daher auch ein sehr großes specifisches Gewicht, so daß man nicht darin untertauchen kann. An der Ostseite legt sich das Salz in fußdicken Schollen an, und alle Gegenstände werden damit inkrustirt; selbst das durch den Wind fortgerissene Wasser überzieht die benachbarten Gegenstände und Kleider der Reisenden mit Salz. Zu Zeit der Hitze ist die Ausdünstung ungesund und nach Seetzen ***) stets wie Seewasser riechend. Mitunter steigen Rauchsäulen aus dem See auf, namentlich lagen zur Zeit des großen Erdbebens in Syrien anhaltend dicke Rauchwolken auf der ganzen Gegend, welche nur selten von Reisenden besucht wird. Das Wasser ist warm, vermuthlich durch die Asphaltquellen, indem diese Substanz wenigstens häufig als flüssige Masse emporquillt und erst an der Oberfläche mehr erhärtet.

Das Wasser dieses Sees ist oft chemisch untersucht worden. Klaproth ****) fand in 100 Theilen desselben 10,6 salzsauren Kalk, 24,2 salzs. Magnesia und 7,8 salzs. Natron. Gay-Lussac *****) fand sein specif. Gewicht bei 17° C. = 1,2283 und in 100 Th. 6,95 Kochsalz, 3,98 salzs. Kalk und 15,31 salzs.

---

*) Pallas Reisen durch verschiedene Provinzen des russischen Reiches Th. I. S. 299. 406. 427; Th. II. S. 349; Th. III. S. 630 ꝛc. Alexander in Edinb. New Phil. Journ. N. XV. p. 13. O. J. F. Erdmann, Beiträge zur Kenntniß des Innern von Rußland. 2. Abth. S. 252.

**) Humboldt's Reisen. Th. I. S. 525.

***) Monatliche Correspondenz. Th. XVI.

****) Magaz. der Berl. Ges. Naturf. Freunde. Th. III. S. 439.

*****) Ann. de Chim. et de Phys. T. XI. p. 195. Gilbert's Ann. Bd. LXIII. S. 198.

Talk. Nach Hermbstedt's *) Analyse beträgt das specifische Gewicht bei 12°,5 R. 1,24, und es finden sich in 100 Th. an freier Salzsäure 0,507, schwefels. Kalk 0,004, schwefels. Natron 1,597, Chloreisen im Maximum 0,335, Chlorkalium 0,275, Chlornatrium 4,859, Chlorcalcium 4,250, Chlormagnium 15,755, zusammen 27,584. Nach Gmelin **) ist das specif. Gewicht bei 13° R. = 1,21223, und 100 Th. Wasser enthalten 24,5398 Chlorcalcium, 11,7734 Chlormagnium, 0,4393 Brommagnium, 7,0777 Chlornatrium, 1,6738 Chlorkalium, 0,0896 Chloraluminium, 0,2117 Chlormangan, 0,0075 salzs. Ammoniak, 0,0527 schwefels. Kalk.

Es versteht sich von selbst, daß die Temperatur des Seewassers von der Temperatur des umgebenden Landes, der Luft und des zuströmenden Wassers abhängen muß. Numerische Angaben über die Temperatur der Seen in verschiedenen Tiefen finden sich im Art. Erde, Bd. II. S. 921.

Bei den meisten größeren Seen hat man bemerkt, daß der Wasserspiegel innerhalb einer gewissen Zeit an bestimmten Orten sich erhebt und dann wieder sinkt. Diese Niveauveränderungen wurden zuerst genauer auf dem Genfer- und Bodensee beobachtet ***), und an jenem Seiches, an diesem Ruhß genannt. Dieselben sind da, wo der See abfließt, am stärksten, und um so häufiger, je veränderlicher der Zustand der Atmosphäre ist, übrigens aber unabhängig von dem durch das Schmelzen des Schnees und durch den Regen bewirkten Steigen des Wassers. Auch geschehen diese Niveauveränderungen ohne Wellenschlag und ohne merkliche Strömung. Im Genfersee beträgt die Erhebung des Wassers etwa 4 bis 5 Fuß, im Bodensee aber nur 4 bis 5 Zoll. Nach Vaucher ****) steigt im Genfersee das Wasser oft innerhalb 15 bis 20 Minuten um 3 bis 5 Fuß, jedoch nur unweit Genf, wo der See am schmalsten ist. Man hat diese Erscheinung auf verschiedene Weise zu erklären gesucht, theils sollte sie von einfachen Luftströmungen herrühren, welche aus gewissen Thälern kommend sich auf der Wassermasse entladen und hier einen größeren Druck erzeugen, dann auch aus dem Ergusse unterirdischer intermittirender Quellen, und nach Nicholson *****) aus einem Wechsel des Verhältnisses der ein- und ausfließenden Wassermasse. Am wahrscheinlichsten liegt aber nach Saussure die Ursache dieser Erscheinung darin, daß der Druck der atmosphärischen Luft auf den See von ungleicher Größe ist. Dieser Druck ist Veränderungen unterworfen, welche besonders durch Temperaturwechsel herbeigeführt werden. Vaucher stimmt hiermit im Wesentlichen überein. Die stärkere Erhebung des Wassers an den schmaleren Enden der Seen kommt daher, daß das ursprünglich stärker gedrückte Wasser aus den weiteren Räumen in die engeren gedrängt wird. Dabei reflectirt Vaucher noch auf die Neigung gegen den Horizont, welche die Oberflächen aller abfließenden Seen haben müßten, was

---

*) Berl. Denkschriften 1820 u. 21. S. 63.

**) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXV. p. 102. Naturwissenschaftliche Abhandlungen. Tübingen 1827. Th. I. S. 333.

***) Saussure, Voyages etc. T. I. p. 12. Hist. de l'Acad. 1736. p. 18.

****) Bulletin de Sciences de la Soc. philom. N. 96. Voigt's Magaz. Th. I. S. 503. Gilb. Ann. Bd. XXXIII. S. 339. Mém. de la Société de Physique et d'Histoire nat. de Genève. T. IV. part. 1. Bibl. univ. 1833. p. 353. Edinb. New Phil. Journ. Vol. XXXIV. p. 285.

*****) Gilbert's Ann. Bd. XXXIII. S. 350.

denn ein Ansteigen in der Gegend des Ausflusses zur Folge habe, falls dieser gehindert werde; dies geschehe aber am leichtesten bei überhaupt höherem Wasserstande, und daher seien auch die betreffenden Niveauveränderungen zur Zeit der Nachtgleichen am beträchtlichsten.

Die Seen sind hier und da gewissermaßen als Regulatoren des Wasserstandes der Flüsse zu betrachten, insofern sie nämlich eine sehr bedeutende Menge Wasser aufnehmen können, ohne beträchtlich zu steigen.

Sehen bezeichnet das durch die Thätigkeitsäußerung des Auges vermittelte Wahrnehmen von Licht und Farbe und von der Gestalt, Größe und Entfernung der Gegenstände außer uns. Mit Sehen gleichbedeutend wird oft Gesicht gebraucht, indem man z. B. sagt: „mein Gesicht verschlechtert sich", womit man ausdrücken will, daß man nicht mehr so gut wie vordem sehen kann. Wegen des Auges vergl. Art. Sinne.

Wenn wir mittelst unseres Auges von einem Körper außer uns einen Eindruck erhalten, so muß etwas Substantielles als Vermittler zwischen dem Auge und dem Körper vorhanden sein. Dies Substantielle nennen wir gewöhnlich Licht; nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft unterliegt es aber keinem Zweifel mehr, daß eigentlich der Aether dieses Substantielle ausmacht, indem die Schwingungen desselben — analog den Schallschwingungen — eine Empfindung in dem Auge erregen, welche zu dem Bewußtsein von dem Gegenstande außer uns führt*). Wir haben demnach den Hergang des Sehens zunächst, d. h. im physikalischen Sinne, so aufzufassen, daß die von den selbstleuchtenden Körpern erregten oder die von den erleuchteten zurückgeworfenen Aetherwellen bei ihrem Eindringen in das Auge auf der Netzhaut (dem auf der Innenfläche des Auges ausgebreiteten Sehnerven) durch ihr Aufschlagen einen Reiz verursachen, der sowohl quantitativ, als qualitativ verschiedene Empfindungen zur Folge hat. Wie die Wellenlänge und die Anzahl der Schwingungen in einer Secunde mit den prismatischen Farben im Zusammenhange stehen, darüber giebt der Art. Farbenringe Newton's, Bd. III. S. 79 Aufschluß; auf andere Beziehungen, z. B. Dauer des Lichteindrucks, werden wir noch im Verlaufe dieses Artikels kommen. Die Linie, in welcher die Wirkung des Lichtes sich fortpflanzt, nennt man Lichtstrahl und zwar in Beziehung auf eine Reihe von Aetherschwingungen einen geometrischen, während ein Aggregat von so vielen geometrischen Lichtstrahlen, daß sie einen Eindruck auf die Netzhaut machen können, einen physischen Lichtstrahl ergiebt. Nur mit den letzteren haben wir es hier zu thun.

Die Lichtstrahlen gelangen zuerst auf die Hornhaut und durch diese auf die wässerige Feuchtigkeit. Hierbei werden sie gegen die Axe des Auges zu gebrochen, so daß, wenn sonst keine Brechung eintreten würde, etwa 15 Linien hinter der Hornhaut von sehr entfernten Gegenständen ein kleines Bild entstehen müßte; beim weiteren Eindringen in das Auge treffen die Lichtstrahlen jedoch auf die Krystalllinse und beim Austritte aus dieser auf die Glasfeuchtigkeit, wodurch eine größere Convergenz bedingt wird, so daß das Bildchen ungefähr 8 Linien hinter der Linse, d. h. etwa $11^1/_2$ Linie hinter der Hornhaut zu Stande kommt. In dieser Entfernung von der Hornhaut befindet sich nun der Boden des Auges, welcher von

*) Vergl. Art. Licht, Bd. IV. S. 471 und 520 ff.

der Netzhaut bedeckt ist. Es erscheint folglich ein Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut und zwar, wie dies die Brechung mit sich bringt, ein verkehrtes Bild. Daß dies kleine umgekehrte Bild des Gegenstandes das Sehen bedingt und somit die Netzhaut gewissermaßen der Sitz des Sehens ist, wird jetzt allgemein angenommen. Kepler*) hat diesen Vorgang des Sehens zuerst deutlich ausgesprochen und von Scheiner**) ist zuerst die Gegenwart dieses verkehrten Bildes auf der Netzhaut durch Versuche nachgewiesen worden. Er nahm 1625 zu Rom das Auge eines eben gestorbenen Menschen, besonders häufig aber von Ochsen, Schafen und dergleichen, verdünnte den hinteren Theil der harten Hornhaut und brachte in einiger Entfernung vor die durchsichtige Hornhaut einen hellen Gegenstand, z. B. die Flamme einer Kerze; es zeigte sich dann auf dem Grunde des Auges, als man von hinten durch die verdünnte Stelle sehen konnte, ein kleines Bild mit derselben Farbe, welche der Gegenstand hat. Da bei den Kakerlaken, z. B. bei den weißen Kaninchen, weißen Mäusen rc., der schwarze Ueberzug der Aderhaut, das schwarze Pigment, fehlt, so lassen sich mit den Augen dieser Thiere diese Versuche noch bequemer anstellen, indem der hintere Theil der harten Hornhaut durchscheinend ist und die Bilder, welche sich auf dem Grunde des Auges darstellen, sich ohne Weiteres wahrnehmen lassen. Es liegt nahe, diesen Vorgang im Auge mit dem in einer Camera obscura zu vergleichen, indem die Krystalllinse die Linse, welche in der Wand des dunklen Kastens angebracht wird, und die Stelle der Netzhaut die das Bild auffangende Hinterwand von mattem Glase vertritt. Es hat diesen Vergleich auch bereits Joh. Baptist Porta, der Erfinder der Camera obscura ***), angestellt; doch scheint seine Bemerkung, da sich dieselbe nicht auf eine Camera mit Converglas, sondern nur mit einer sehr kleinen Oeffnung bezog, nicht ganz passend zu sein, wenn auch als Beleg angeführt zu werden pflegt, daß Personen, welchen der graue Staar operirt wurde, ohne Krystalllinse noch sehen können. Dergleichen Personen sehen zwar, aber undeutlicher, als mit gesunden Augen, so daß sie zum Ersatze der Krystalllinse sich einer sogenannten Staarbrille bedienen müssen; das undeutliche Sehen ohne solche Brille wird indessen zum größten Theil durch die sonstigen im Auge vorhandenen brechenden Mittel bewirkt und die Erzeugung des kleinen Bildes geschieht mithin nicht genau so, wie in Porta's Camera obscura.

Wie der Mensch die in seinem Auge durch die Gegenstände außerhalb bewirkten Eindrücke zur geistigen Wahrnehmung, zum Bewußtsein bringe, dies zu untersuchen, ist nicht Gegenstand der Physik, sondern der Psychologie. Das Auge gilt uns hier nur als physikalischer Apparat, als optisches Instrument; hierbei stellt sich aber heraus, daß dieser Apparat einen solchen Grad von Vollkommenheit besitzt, daß die Kunst bis jetzt nur zum Theil dieses Muster hat erreichen können, vieles dabei aber wohl noch nicht einmal in seinem Wesen erkannt ist. Daß wir das Innere der optischen Instrumente (Fernröhre und dergl.) mit einem schwarzen Ueberzuge versehen müssen, um alle seitwärts einfallenden, nicht zur Hervor-

*) Diopt. prop. 60.

**) C. Scheiner, Oculus, sive fundamentum opticum, in quo radius visualis eruitur, sive visiori in oculo sedes decernitur, et anguli visorii ingenium reperitur. Lond. 1652. p. 176.

***) Vergl. Art. Camera obscura, Bd. I. S. 933.

bringung des Bildes dienenden Lichtstrahlen, die durch ihre Reflexion von den Wänden störend wirken würden, zu beseitigen, lehrt uns das Auge mit seinem schwarzen Pigmente, so wie andererseits in den Augen der Kakerlaken uns die Nachtheile des Mangels desselben recht klar vorgeführt werden. Newton hielt es für unmöglich, die Farbenzerstreuung in den Fernröhren zu beseitigen *); Euler berief sich auf das Auge und behauptete, daß dies wohl möglich sein müsse, und Dollond lieferte den thatsächlichen Beweis, daß Euler Recht hatte, wenn gleich es irrig ist, daß das Auge vollkommen achromatisch sei. So dürfte uns das Auge noch Manches lehren, wie denn z. B. Porterfield's Entdeckung **), daß die Linse nach dem Rande zu an Dichtigkeit abnimmt, vielleicht ein Fingerzeig ist, auf welchem Wege die Abweichung wegen der Kugelgestalt in den optischen Instrumenten zu beseitigen sein möchte.

Es ist die Frage aufgeworfen worden, woher es komme, daß wir die Gegenstände aufrecht sehen, während doch das Bildchen auf der Netzhaut umgekehrt sei. Die Antwort ergiebt sich leicht, wenn wir bedenken, daß das Bildchen auf der Netzhaut selbst von uns gar nicht wahrgenommen wird, sondern daß der Eindruck, welchen die Netzhaut erhält, uns nur Veranlassung giebt zu einem Urtheile über die Richtung, von welcher her dieser Eindruck erzeugt wurde. Verfolgen wir nun den Gang der Lichtstrahlen von dem Netzhautbildchen rückwärts, so ergiebt sich das Unten im Bildchen als Oben im Gegenstande und umgekehrt, so daß die rückwärts verfolgte Richtung des Anstoßes oder Eindrucks uns auf eine Umkehrung des umgekehrten Netzhautbildchens, mithin auf die aufrechte Stellung des Gegenstandes führt. Es erscheint also gar nicht nöthig, zur Erklärung des Aufrechtsehens der Gegenstände die erfahrungsmäßige Bestätigung durch die anderen Sinne, namentlich den Tastsinn, mit zu Hülfe zu nehmen. Noch weniger wird auf anatomischem Wege hier ein Nachweis zu suchen sein, der gar nicht weiter nöthig erscheint. L. Fick hat ***) die Hypothese aufgestellt, daß das Aufrechtsehen darauf beruhe, daß die Einpflanzung der Retinalelemente in dem Leibestheile, in welchem das Bewußtsein zu Stande kommt (dem cerebrospinalen Nervenorgane), die umgekehrte sei, als in der Netzhaut.

Eine Hauptrolle spielt hingegen die Erfahrung bei der Beurtheilung der Größe und Entfernung der Gegenstände. Kinder haben noch keine Vorstellung von der Entfernung und greifen nach entfernten Gegenständen nicht minder, wie nach nahen, bis sie durch die Erfahrung geübter werden, die Entfernung zu schätzen. Selbst Erwachsene machen Fehlgriffe, wo ihnen die Erfahrung noch mangelt, z. B. bei Beurtheilung der Entfernung und Größe des Bildes im Fernrohre, oder wo das Urtheil in Folge von anderweitigen, sonst maßgebenden Anhaltpunkten, die aber nicht in voller Reinheit auftreten, irre geleitet wird. Es entstehen hieraus gar mannichfache Täuschungen, z. B. daß uns im Nebel ein naher Gegenstand riesig groß erscheint, weil wir denselben bei der Undeutlichkeit seiner Umrisse in Gedanken so weit entfernt annehmen, als bei heiterem Wetter der Fall sein müßte, um dieselbe Undeutlichkeit zur Folge zu haben. Uebung thut

---

*) Art. Fernrohr, Bd. III. S. 109 und 111. Art. Linsenglas, Bd. IV. S. 572.

**) Gilbert's Ann. Bd. XXX. S. 222.

***) Müller's Archiv für Anatomie und Physiol. 1854. Bd. III. S. 220.

bei Beurtheilung der Entfernung das Meiste. Jäger schätzen innerhalb der Entfernung, in welcher sie zu schießen gewohnt sind, in der Regel den Abstand sehr genau; in größeren Abständen irren sie sich. Im Wesentlichen ist das Urtheil über die wahre Entfernung eines Gegenstandes abhängig von dem Winkel, welchen die Axen beider auf den Gegenstand gerichteter Augen mit einander bilden; doch kommt es außerdem noch auf die Stärke der Beleuchtung an, und als Anhalt dient ferner die bekannte Entfernung anderer Gegenstände. Ueber den letzteren Punkt giebt Art. Parallaxe, Bd. V. S. 131 den nöthigen Aufschluß, indem wir dadurch sicher bestimmen können, ob ein gewisser Gegenstand näher oder ferner ist als ein anderer. Je weniger deutlich, also je weniger scharf in den Umrissen ein Gegenstand erscheint, desto weiter setzen wir ihn von uns entfernt, wie das eben angeführte Beispiel der Täuschung beim Nebel zeigt. Je größer der Winkel ist, welchen die Augenaxen mit einander bilden, desto näher scheint uns der Gegenstand zu stehen. Die Netzhautbilder von einem nahen und einem entfernten Gegenstande können gleiche Größe haben; der Axenwinkel ist aber verschieden und daraus bestimmen wir den Abstand. Sieht man nur mit einem Auge, so täuscht man sich daher leicht über die Entfernung. Bei Betrachtung der wahren Größe kommt es nun mit auf die Bestimmung des Abstandes an; da hierbei Irrthümer möglich sind, so folgen daraus auch Fehlschlüsse auf jene. Denken wir uns einen verticalen Gegenstand ab und zwar a unten, b oben, z. B. einen Baum, und das Auge in o; nehmen wir ferner an, daß oa auf ab senkrecht steht: so ist $ab = ao \,.\, \text{tg}\, aob$. Hier ist ao die Entfernung des Gegenstandes; haben wir also diese falsch beurtheilt, so ergiebt sich auch ein falscher Werth für die wahre Größe ab. Außerdem ist der Werth von ab noch von tgs aob abhängig; ist also aob nicht sicher bestimmt, so resultirt hieraus eine zweite Fehlerquelle. Gewöhnlich erklärt man hieraus die scheinbare Vergrößerung des Mondes, wenn er dicht am Horizonte steht. Die am Horizonte stehenden Gegenstände von im allgemeinen bekannter Entfernung und das Bewußtsein von der scheinbar viel größeren Entfernung des Mondes geben Veranlassung die wahre Entfernung falsch zu bestimmen und dies führt zu einem falschen Ergebnisse. Blickt man durch ein Rohr, so daß eine Beziehung zu den am Horizonte befindlichen Gegenständen nicht mehr möglich ist, so erscheint der Mond auch bei seinem Aufgange eben so groß, als wir ihn bei höherem Stande über dem Horizonte beurtheilen.

Nach dem Winkel aob, oder vielmehr nach tgs aob, beurtheilen wir die scheinbare Größe des Gegenstandes. Sonne und Mond erscheinen im Durchschnitte unter demselben Winkel, nämlich etwa 30′, und deshalb sind sie scheinbar gleich groß, wiewohl sie bei dem so bedeutenden Unterschiede ihrer Entfernung in ihrer wahren Größe eben so bedeutend von einander verschieden sind. Wie sehr hierbei andere Vorstellungen mit in Betracht kommen, zeigt sich z. B. daran, daß Kinder weit eher nach diesem Winkel urtheilen, als Erwachsene, welche ihre durch Erfahrung gewonnene Vorstellung von der wahren Größe mitbringen. Von einem Thurme aus erscheinen einem Kinde die erwachsenen Menschen klein wie Kinder, nicht so ist es bei dem Urtheile, welches ein Erwachsener in solchem Falle abgiebt. Auf einer etwa 1000 Schritt entfernten Eisfläche liefen Knaben Schlittschuh. Ein kleines Mädchen, welches mich begleitete, wunderte sich über die überaus kleinen Kinder, während die Knaben mir in gewohnter Größe erschienen.

Der Winkel, welchen die von den äußersten Enden eines sichtbaren Gegen-

standes nach dem Auge gezogenen Lichtstrahlen mit einander bilden, heißt der **Sehwinkel** oder **Gesichtswinkel** oder **optische Winkel**. Dieser Winkel ist es also, nach welchem wir die **sichtbare** oder **scheinbare Größe** eines Gegenstandes beurtheilen und zwar in der Weise, daß, je kleiner der Winkel wird, auch diese sich um so kleiner ergiebt. Der Sehwinkel wird bei einem und demselben Gegenstande desto kleiner, je weiter sich derselbe entfernt, und er kann endlich so klein werden, daß der Gegenstand von uns gar nicht wahrgenommen wird. Dies tritt im Allgemeinen ein, wenn die Entfernung des Gegenstandes ungefähr 6000 Mal seine **wahre** Größe übertrifft; jedoch kommt es hierbei auf den Gegensatz oder den Contrast in der Farbe des Gegenstandes und des Hintergrundes an, und eben so machen lange, dünne Körper eine Ausnahme. Lassen die Knaben einen Papierdrachen steigen, so erscheint er immer kleiner, je höher er steigt, er würde endlich dem Auge verschwinden, aber dies tritt wieder um so später ein, je stärker die Farbe, mit welcher der Drache bemalt ist, von der Farbe des Himmels absticht; der Faden endlich, an welchem der Drache gehalten wird, giebt ein Beispiel dafür, daß lange, dünne Gegenstände weithin sichtbar bleiben, denn es läßt sich der Faden in große Ferne verfolgen.

Die mittlere Entfernung, bei welcher ein Gegenstand dem Auge verschwindet, wurde eben auf das 6000fache der wahren Größe angegeben. Dies führt zu einem Winkel von etwa 34 Sec.; denn tgs 34″,3 ist gleich $^1/_{6013}$ und tgs 30″ = $^1/_{6875}$. Im Durchschnitte würde also nach dieser Bestimmung ein Gegenstand verschwinden, wenn er unter einem Sehwinkel von etwa $^1/_2$ Grad erscheint. Dies gilt nicht blos für die Höhe eines Gegenstandes, sondern für jede Dimension desselben. Eine Straße von 20 Fuß Breite müßte mithin circa 5 Meilen lang sein, wenn von dem einen Ende aus die Breite von dem anderen Ende nicht mehr wahrnehmbar sein sollte. Das **Gauß**'sche Heliotrop-Licht von einem dreizölligen Spiegel (Par. Maß) wurde oft von Punkten mit bloßem Auge gesehen, von denen aus der scheinbare Durchmesser des Spiegels nur 0″,43 betrug. **Humboldt** erzählt*), daß er seinen Freund **Bonpland**, in einem weißen Mantel (Poncho) reitend, in Quito mit unbewaffnetem Auge aus einer Entfernung unterschieden habe, bei welcher der Sehwinkel der Schulterbreite, — diese zu 3 bis 5′ genommen, da der Mantel bald anlag, bald flatterte — nur 7″,25 bis 12″ betrug **). Helle und scharf leuchtende Gegenstände verschwinden, wie wir an den Fixsternen sehen, auch dann nicht, wenn sie in unermeßlichen Fernen von uns stehen. Indessen erhalten wir doch auch durch die stärksten Fernröhre kein Bild eines Fixsternes, welches sich als Fläche darstellte, sie bleiben immer nur Punkte. Nach **Leuwenhoek** geben 18000 Spinnenfäden die Dicke eines Barthaares. Man wird daher sich nicht sehr von der Wahrheit entfernen, wenn man annimmt, daß von den feinen Spinnenfäden in optischen Instrumenten (zu Fadenkreuzen) zehn auf den Durchmesser der gleichfalls in dieselben wohl eingezogenen Silberfäden gehen, deren Durchmesser nach Messungen $^1/_{36}$ Par. Linie beträgt. Solche Spinnenfäden, in einer Entfernung von 10 Zoll sichtbar, haben einen Sehwinkel von 4″,7 und wenn man annimmt, daß ein scharfes Auge einen solchen auf 5 Fuß Entfernung sieht, so beträgt der Sehwinkel nahe 0″,8.

---

*) Kosmos, Bd. III. S. 69 und Ansichten der Natur, Bd. II. S. 54.
) Vergl. **Emsmann, physikalische Aufgaben. S. 87 u. 88.

Wo es darauf ankommt, einen Gegenstand in möglichst großer Entfernung noch zu sehen, wird man einen möglichst starken Contrast in der Farbe des Gegenstandes und des Hintergrundes herbeizuführen suchen. Die Zifferblätter der Thurmuhren wird man daher am besten mit schwarzem Grunde und goldenen Ziffern und Zeigern herstellen. Bei einer Taschenuhr, deren Zifferblatt weiß ist, werden schwarze Ziffern und stählerne, nicht goldene Zeiger den Vorzug verdienen. Umgekehrt wird man diesen Contrast zu vermeiden haben, wo es vortheilhafter ist, bei geringerer Entfernung nicht wahrgenommen zu werden. Die Tracht der Jäger ist nach diesem Gesichtspunkte gewählt. Das weiße Lederzeug ist bei dem Militär unzweckmäßig, da der Gegner dadurch eine gute Zielscheibe gewinnt, eben so haben sich die glänzenden Beschläge an den Helmen der Soldaten im Kriege höchst unzweckmäßig ergeben.

Die ganze Lehre von der **Perspective**, ohne welche eine wahre Maler- und Zeichenkunst — wie uns die chinesischen Malereien zeigen — nicht möglich ist, beruht auf den so eben angeführten Erscheinungen. Vergl. Art. **Projection**.

Auf das Accommodationsvermögen des Auges, welches bei der Beurtheilung der Entfernung eines Gegenstandes ebenfalls Berücksichtigung verdient, werden wir noch im Verlaufe dieses Artikels kommen.

Rückt man einen kleinen Gegenstand, z. B. die Schrift eines Buches, aus einer Entfernung, bei welcher man denselben deutlich sieht, dem Auge immer näher, so gelangt man endlich zu einem Abstande von dem Auge, bei welchem die Deutlichkeit des Sehens aufhört und der Gegenstand trübe erscheint. Die kleinste Entfernung des Gegenstandes von dem Auge, bei welcher derselbe noch deutlich wahrgenommen wird, heißt die **Sehweite** oder die **Weite des deutlichen Sehens**. Die Bestimmung derselben ist namentlich bei der Auswahl der Brillen nothwendig. Die zu dieser Bestimmung gebräuchlichen Instrumente heißen **Optometer** und ist ein solches im Art. **Brillen**, Bd. I. S. 915 beschrieben. Einfach kann man die Sehweite ermitteln, wenn man durch zwei feine dicht neben einander in einem Kartenblatte angebrachte Oeffnungen nach einem dünnen Gegenstande, z. B. nach der Spitze einer Nadel, sieht. Man wird dann bei den verschiedenen Entfernungen des Gegenstandes denselben meistens doppelt sehen; rückt man aber denselben näher oder weiter ab, so findet man bald eine Stelle, in welcher er nur einfach erscheint, und diese Entfernung von dem Auge ist dann die Sehweite.

Die Sehweite ist für die verschiedenen Augen verschieden und selbst bei ein und demselben Auge ergiebt sich ein gewisser Spielraum, weil das Auge die Fähigkeit besitzt, von Gegenständen in den verschiedensten Entfernungen ein deutliches Bild herzustellen. Diese Fähigkeit heißt das **Einrichtungs-** oder **Adaptations-** oder **Accommodations-Vermögen**.

Huyghens giebt als Sehweite für ein gesundes Auge 8 Par. Zoll an, **La Hire** 12 Z., **Büffon** 8 bis 20 Z., **Jurin** 5 Zoll bis 14 Fuß 5 Z. Bei einem gesunden Auge ist eben ein gewisser Spielraum da, und wie bedeutend dieser mitunter ist, dafür führt in der ersten Auflage dieses Werkes **Marbach** sein eigenes Auge an. Er giebt daselbst an, daß er noch aus einer Entfernung von 30 Fuß bei gewöhnlicher Beleuchtung Büchertitel zu lesen sehr wohl im Stande sei, und die Schrift der Allgemeinen Zeitung aus einer Entfernung von 6 Fuß eben so geläufig zu lesen vermöge, wie aus einer Entfernung von 2½ Zoll und aus der von 103

Den nächsten Punkt, für welchen eine vollständige Accommodation des Auges zu Stande gebracht werden kann, nennt man den Nähepunkt der Accommodation, den am weitesten abstehenden den Fernpunkt derselben. Bei einem gesunden Auge liegt der Nähepunkt gewöhnlich in einem Abstande von 4 bis 5 Zoll, während der Abstand des Fernpunktes sehr bedeutend sein kann. Liegt der Fernpunkt nur einige Zoll vom Auge, so nennt man das Auge kurzsichtig oder myopisch; liegt hingegen der Nähepunkt weiter ab, als bei dem gesunden Auge, wohl gar einige Fuß, so heißt das Auge weitsichtig oder presbyopisch. Die Weitsichtigkeit stellt sich meist im vorgerückten Alter ein. Daher schreibt sich auch der griechische Name Presbyopie für dieselbe, indem πρέσβυς alt bedeutet, während μυάω „ich blinze mit den Augen" heißt und also auf das Zusammenkneifen oder Blinzen der Augen bei einem Kurzsichtigen sich bezieht.

Worauf das Accommodationsvermögen des Auges beruht, ist noch nicht völlig entschieden. Vergl. Art. Irradiation, Bd. IV. S. 135. Anmerkung. Es steht thatsächlich fest, daß sich bei der Accommodation für die Nähe die Pupille verengt, bei der Accommodation für die Ferne erweitert. Ferner verschieben sich der Pupillenrand der Iris und die Mitte der vorderen Linsenfläche bei der Accommodation für die Nähe etwas nach vorn; eben so wird die vordere Fläche der Krystalllinse in diesem Falle gewölbter, und da hierbei die hintere Fläche an ihrer Stelle verbleibt, so erhält mithin bei der Accommodation für die Nähe die Linse eine größere Dicke in der Mitte *). Eine Veränderung in der Krümmung der Hornhaut hat nicht nachgewiesen werden können, wiewohl man früher eine solche behauptete **); nicht unwahrscheinlich ist aber eine Veränderung des ganzen Augapfels durch mehr oder mindere Anspannung der Augenmuskeln. Maunoir ***) erinnert allerdings noch an Beobachtungen, nach welchen die Convexität der Hornhaut sehr merklichen Aenderungen unterworfen ist. H. Helmholtz ****) bestreitet dies aber entschieden. Früher wurde von mehreren Seiten behauptet, daß das Auge die Fähigkeit besitze, im Gegensatze zu künstlichen Linsen, die Bilder von in verschiedener Entfernung stehenden Gegenständen an demselben Orte zu entwerfen, ohne daß eine Aenderung im Brechungsapparate des Auges nothwendig sei; andere Forscher hielten die Größenveränderung der Pupille allein für ausreichend; noch andere glaubten an eine Krümmungsänderung der Hornhaut; eben so hielt man eine Verschiebung der Linse oder eine Formveränderung derselben für ausreichend, oder eine bloße Aenderung der Form des Augapfels; auch an eine Aenderung des Brechungsvermögens der Augenmedien hat man gedacht, endlich sogar zu einem psychischen Processe seine Zuflucht genommen. Jobard behauptet *****), daß er zu verschiedenen Zeiten seines Lebens ganz beliebig durch anhaltende Uebung des Auges sich Fern- oder Kurzsichtigkeit habe angewöhnen können, so daß er bei mehrmaligem Wechsel jeder Unterstützung durch sonstige optische Hülfsmittel habe entbehren können.

---

*) Das Accommodationsvermögen des Auges. Nach Dr. A. Cramer zu Gröningen und Prof. Donders zu Utrecht, von Dr. Schauenburg, Lahr 1854.

**) Wagner, Handwörterbuch der Physiologie. Art. Sehen.

***) Archives des scienc. phys. et natur. Genève. T. XXXI. p. 309.

****) Allgemeine Encyklop. der Physik. Bd. IX. S. 112.

*****) Instit. 1855. p. 209. Compt. rend. T. XL. p. 1294.

Daß wir mit beiden Augen die Gegenstände doch nur einfach sehen, wird gewöhnlich als etwas ganz besonders Merkwürdiges dargestellt; im Grunde genommen ist aber dem gar nicht so, sondern wir sehen wirklich immer, wenn wir mit beiden Augen sehen, zwei Bilder des Gegenstandes, nur decken sich dieselben, wenn der Gegenstand einfach erscheint. Genau genommen sehen wir immer nur einen einzelnen Punkt einfach, wenn auf denselben die beiden Augenaxen gerichtet sind, und deutlich sehen wir ihn, wenn sich das Auge für die Entfernung dieses Punktes accommodirt hat. Es fallen dann die beiden Bilder des Punktes in den beiden Augen auf die Stelle, in welcher die Axe die Netzhaut trifft, d. h. wenn die Linie oder der Strahl, welcher von dem Punkte mitten durch die Pupille und mitten durch die Krystalllinse geht, auf die Mitte der Netzhaut trifft. Daß wir nun doch nicht blos einen Punkt, sondern einen ganzen Körper auf einmal sehen können, erklärt man daraus, daß die Augen mit ungemeiner Schnelligkeit über den ganzen Körper hinwegschweifen und so den Gesammteindruck des Körpers zum Bewußtsein bringen *). Dove hat in den Berichten der Berliner Akademie 1841, S. 252 Versuche beschrieben, bei welchen er mit dem Lichte eines elektrischen Funkens experimentirte, aus denen er den Schluß zieht, daß die oscillatorische Bewegung der Augenaxen so schnell erfolgen müsse, daß sie in einer kürzeren Zeit als der millionste Theil einer Secunde ausgeführt werde. Ob dies wahrscheinlich sei, fügt er hinzu, mögen die Physiologen entscheiden.

Wenn wir mit beiden Augen nur den einen Punkt einfach und deutlich sehen, auf welchen beide Augenaxen gleichzeitig gerichtet sind, so können wir andere Punkte, von denen zwar Lichtstrahlen in die Augen gelangen, aber nicht mit den Augenaxen, die jenen Punkt fixiren, zusammenfallen, nicht einfach sehen. Es ist nicht allgemein wahr, daß eine ganze Reihe von Gegenständen zu gleicher Zeit mit beiden Augen einfach gesehen werden kann, wenn sie nur ihre Bilder in beiden Augen auf entsprechende Stellen der Netzhaut werfen, wie Joh. Müller **) behauptet. Es steht diese Behauptung mit der oben gegebenen Erklärung von dem Sehen eines Gegenstandes in Widerspruch. In anderen Lehrbüchern findet man dieselbe Ansicht ausgesprochen, jedoch werden die betreffenden Stellen im Auge bald als symmetrisch, bald als correspondirend, oder als übereinstimmend bezeichnet; damit ist indessen nichts gewonnen, da, wie bereits Vieth ***) es ausspricht, hiermit nicht der Grund angegeben wird, sondern nur die näheren Umstände bezeichnet würden, unter denen die Erscheinung angeblich erfolgen solle, wiewohl es nicht einmal richtig ist, daß man nur dann doppelt sehe, wenn die Bilder des nicht fixirten Gegenstandes in beiden Augen auf verschiedene Seiten der Augenaxe, und einfach, wenn sie auf dieselbe Seite fallen.

Sind die Augen auf eine bestimmte Entfernung accommodirt und fixiren

*) Vergl. Brücke in Müller's Archiv 1841. S. 459. Prevóst in einer vor der Société de Physique de Genève gelesenen Abhandlung: essai sur la théorie de la vision binoculaire. Brewster in Edinb. Trans. 1843 p. 349 und Dove: Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853. S. 161 ff., wo die betreffenden Stellen angeführt sind.

**) Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 4. Aufl. der Bearbeitung von Pouillet's Lehrbuch. Bd. I. S. 457.

***) Gilbert's Ann. Bd. LVIII. S. 233.

sie einen bestimmten Punkt, so wird bis zu einer gewissen seitlichen Entfernung hin Alles doppelt gesehen, was noch Licht in die Augen sendet, nicht blos, wie Joh. Müller a. a. O. sagt, was innerhalb des an dem fixirten Punkte befindlichen parallactischen Winkels und innerhalb seines Scheitelwinkels liegt, sondern auch was außerhalb des parallactischen Winkels sich befindet. Daß die Erfahrung hiermit in Uebereinstimmung steht, hat schon Vieth a. a. O. ausgesprochen, nämlich: „Was im Scheitel des parallactischen Winkels, d. h. des Winkels, der von den beiden Augenaxen gebildet wird, selbst liegt, wird bestimmt einfach gesehen; was innerhalb des parallactischen Winkels und seines Scheitelwinkels liegt, wird bestimmt doppelt gesehen, und zwar gehen die Erscheinungen desto weiter aus einander, je weiter der Gegenstand vom Scheitel entfernt ist, sei es diesseits oder jenseits des Scheitels; was außerhalb des parallactischen Winkels und seines Scheitelwinkels liegt, wird, obwohl unbestimmt, einfach gesehen, wenn es nicht sehr nahe am Auge ist, in großer Nähe aber auch unbestimmt doppelt." Ich selbst habe *) den thatsächlichen Nachweis mit Hülfe eines besonderen Instrumentes geführt, welches ich Diplometer genannt habe.

Das Diplometer besteht aus einem dünnen 24" langen und 6" breiten Brette, welches an den schmalen Seiten in der Mitte einen Ausschnitt hat, um es bequem gegen das Gesicht zu stemmen. Beim Gebrauche kommt die Nase in den Einschnitt (deshalb sind die beiden Einschnitte nicht ganz gleich, um den Apparat für verschiedene Personen bequemer zu machen), das Brett liegt dann in mehr oder weniger horizontaler Lage an den Backenknochen an. In der Mitte des Brettes befindet sich in der Richtung der beiden Einschnitte eine Spalte, in welcher ein Stift an jeder Stelle derselben durch eine Klemmschraube festgestellt werden kann. Dieser Stift ist der zu fixirende Punkt. An der verdickten Basis dieses Stiftes befindet sich fest eine Kreiseintheilung, deren Nullpunkt auf der Halbirungslinie des parallactischen Winkels liegt, der durch den fixirten Stift erhalten wird, also in der Richtung der Spalte. Ueber dieser Kreiseintheilung ist eine um das verdickte untere Ende des fixirten Stiftes drehbare Schiene von 12" Länge angebracht, welche der Länge nach einen Schlitz enthält, zur Aufnahme verschiedener Objecte, die mittelst einer Klemmschraube an jeder Stelle der Spalte befestigt werden können, aber außerdem noch drehbar sind, um sie in beliebige Richtung bringen zu können. Auch ohne Zeichnung wird die Construction dieses einfachen Apparates deutlich sein. Die Handhabung ergiebt sich von selbst.

Ich führe jedoch noch folgenden einfachen Versuch an. Man halte einen ausgespannten Zirkel mit aufwärts oder abwärts gerichteten Schenkeln gerade vor sich hin, so daß der eine Schenkel in der Halbirungslinie des parallactischen Winkels liegt, welchen die nach dem ferneren Schenkel gerichteten Augenaxen bilden; so sieht man die nähere Zirkelspitze doppelt. Hierauf drehe man den näheren Schenkel um den entfernteren als Mittelpunkt nach links oder rechts, so sieht man die nähere Spitze immer doppelt, so lange sie innerhalb des parallactischen Winkels liegt; dreht man noch weiter, so fällt die nähere Spitze in die eine Augenaxe, so daß ein Bild derselben mit der entfernteren Spitze zur Deckung kommt und man in Folge hiervon nicht mehr drei, sondern nur zwei Zirkelspitzen erblickt; dreht man noch weiter, so daß die nähere Spitze außerhalb des parallactischen Winkels

*) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 588.

zu liegen kommt, so sieht man sie wieder doppelt und dies Doppelbild bleibt sichtbar, bis die Drehung eine gewisse Größe erreicht. Eben so verhält es sich, wenn man die nähere Zirkelspitze fixirt und die entferntere, zunächst im Scheitelwinkel des parallactischen Winkels stehende, um diese dreht.

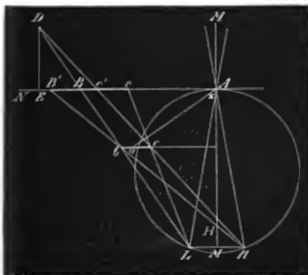
Stellt man den Versuch mit einem entfernten Körper an, indem man z. B. einen entfernten Schornstein fixirt und einen Bleistift oder den zusammengelegten Zirkel als näheren Gegenstand benutzt, so ist das Resultat noch entschiedener. Man sieht alsdann den näheren Gegenstand außerhalb des parallactischen Winkels entschieden doppelt und die jetzt mehr aus einander liegenden beiden Bilder sind noch weit seitwärts sichtbar, bis endlich bei einer Bewegung nach links das linke — dem rechten Auge angehörige — Bild, und bei einer Bewegung nach rechts das rechte — dem linken Auge angehörige — Bild verschwindet. — Bei diesem Versuche überzeugt man sich, daß das Verschwinden des einen Bildes im Allgemeinen eintritt, wenn die Halbirungslinie des parallactischen Winkels mit dem Lichtstrahle, welcher von dem seitwärts liegenden Punkte noch in das auf der anderen Seite liegende Auge gelangt, einen Winkel von 45° bildet. Der Grund liegt darin, daß bei Schließung des einen Auges in der Richtung von dem geschlossenen Auge her nur von Gegenständen Licht in das andere offene Auge fallen kann, wenn sie von der auf der Verbindungsstrecke beider Augen im Halbirungspunkte errichteten Senkrechten — von dem Nasenrücken an gerechnet — nicht weiter als 45° seitwärts liegen. Auch die Maler wissen, daß man mit einem Auge über den Nasenrücken hinweg nicht weiter seitwärts sehen kann, da kein Bild von dem Standpunkte des Malers aus mehr als 90° in horizontaler Richtung umspannen soll.

Ueber die Entfernung, in welcher die Bilder der nicht fixirten Gegenstände stehen, wenn die Augen einen bestimmten Punkt fixiren und der Entfernung desselben accommodirt sind, gilt die Annahme, daß dieselben in der Ebene zu liegen scheinen, welche in dem fixirten Punkte auf der Halbirungslinie des parallactischen Winkels senkrecht steht. Diese Ebene heißt das Horopter und nicht, wie Carus *) sagt, die Fläche des Dreiecks, welche die auf einen Punkt gerichteten Augenaxen mit der Verbindungsstrecke der beiden Kreuzungspunkte des Lichtes im Auge bilden. Von manchen Seiten wird behauptet, daß die Bilder der nicht fixirten Gegenstände in dem Kreise lägen, welcher durch den fixirten Punkt und die beiden Kreuzungspunkte des Lichtes im Auge gelegt werden kann, weil in allen Punkten dieser Kreislinie der Peripheriewinkel der die beiden Kreuzungspunkte der Augen verbindenden Sehne mit dem parallactischen Winkel des fixirten Punktes dieselbe Größe habe und das Auge für diesen Winkel accommodirt sei. Auch Vieth scheint sich zu dieser Ansicht zu bekennen und Prevost**) vertheidigt dieselbe, weil dann entsprechende Punkte von dem Gesichtsstrahle, d. h. von dem durch den Mittelpunkt des Auges gehenden Strahle, getroffen werden. Indessen es scheint kein innerer Grund vorzuliegen, daß die Winkel, welche nicht in der Axenrichtung ins Auge treffende Lichtstrahlen bilden, dem von den Axen gebildeten parallactischen Winkel gleich sein müssen. Ferner müßten dann wohl ebene Flächen stets hohl erscheinen und gerade Strecken gekrümmt, so daß die hohle Seite

*) System der Physiologie. Leipzig 1849. Bd. II. S. 467.
**) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 548.

dem Auge zugerichtet wäre. Soweit meine vielfachen Versuche und Beobachtungen reichen, bestätigt die Erfahrung dies nicht; wohl aber stimmt eine von mir entwickelte Formel mit der Erfahrung so gut überein, daß ich darin einen Anhalt finde, die Annahme von der Lage der Bilder in dem bezeichneten Horopter als die richtige anzusehen. Auch Wheatstone ist gegen die Theorie der entsprechenden Punkte.

Es sei in beistehender Figur L der Kreuzungspunkt der Lichtstrahlen im linken und R derselbe im rechten Auge; auf dem im Halbirungspunkte von LR in M errichteten Perpendikel liege der fixirte Punkt A, so daß also AL und AR die beiden Augenaxen sind; in A stehe AN perpendikulär auf AM, so daß also in AN die Horopterebene die Ebene des Dreiecks ALR schneidet; bc sei das Object parallel AN, welches unter der Annahme, daß jedes Auge dasselbe auf AN versetzt, die beiden Bilder BC von L aus und B′C′ von R aus giebt.



Man setze AM = A; bc = g; LR = a; aA = R, wo a der Halbirungspunkt von bc ist; $\angle aAM = x$ und BC′ = d; so ist, da sich Lb und Rc in D schneiden, wenn das Perpendikel von D auf AN, also DE = e gesetzt wird:

$$d : a = e : (A + e), \text{ also: } (a - d) : A = a : (A + e) \quad \ldots . \quad (1)$$

$$g : a = (R \cos x + e) : (A + e), \text{ also:}$$

$$(a - g) : (A - R \cos x) = a : (A + e) \quad \ldots . \quad (2)$$

folglich aus (1) und (2):

$$(a - d) : A = (a - g) : (A - R \cos x)$$

$$\text{folglich } R \cos x = \frac{A (g - d)}{a - d} \quad \ldots . \quad (3)$$

$$\text{und } d = \frac{A g - a R \,.\, \cos x}{A - R \,.\, \cos x} \quad \ldots .. \quad (4)$$

Für den Fall der Berührung beider Bilder, wo also d = 0 wird, ist

$$R \,.\, \cos x = \frac{A g}{a} \quad \ldots .. \quad (5)$$

Für den Fall der Trennung der beiden Bilder, wo also d negativ wird, ist, wenn wir den absoluten Werth der Größe der Trennung mit t bezeichnen,

$$R \,.\, \cos x = \frac{A (g + t)}{a + t} \quad \ldots . \quad (6)$$

$$\text{und } t = \frac{a R \,.\, \cos x - A g}{A - R \,.\, \cos x} \quad \ldots . \quad (7)$$

Die Formeln (3) und (4) gelten für den Fall der Deckung, deren Größe d angiebt. Der Abstand der Kreuzungspunkte der Lichtstrahlen in beiden Augen,

d. h. a, ist ungefähr $2\frac{1}{2}$ Zoll; nehmen wir denselben constant an, so folgt aus (5), daß die Entfernung des Objectes von dem Horopter um so größer sein muß, wenn die Bilder zur Berührung kommen sollen, je weiter der fixirte Punkt von den Augen absteht und je größer das Object ist. Die Größe der Deckung und Trennung hängt davon ab, ob $A g \gtrless a R \cdot \cos x$ ist, so zwar, daß die Deckung (4) um so größer wird, je mehr $A g$ größer ist als $a R \cos x$ und die Trennung (7) um so bedeutender, je mehr das Entgegengesetzte eintritt.

Macht man $MH = MR = ML$, so ist HR der äußerste Strahl, welcher von links her in das rechte Auge über den Nasenrücken hinweg gelangen kann, eben so HL der für das linke Auge von rechts kommende; folglich kann $R \cdot \cos x$ höchstens $= A - \frac{1}{2} a$ werden. Die größte seitliche Erstreckung eines Gegenstandes, dessen Mitte im Auge noch ein Bild geben soll, ist $R \cdot \sin x + \frac{1}{2} g = A - \frac{1}{2} a - R \cdot \cos x$ und hieraus folgt als größter Abstand der Bilder bei eingetretener Trennung

$$t = \frac{A (a - g) - a (\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} g + R \sin x)}{\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} g + R \cdot \sin x}, \text{ d. h.}$$

das Object muß jedenfalls kleiner als der Abstand der Kreuzungspunkte der Lichtstrahlen in beiden Augen sein, wenn man ein möglichst großes Auseinandertreten der Bilder erhalten will.

Liegt hierbei der Gegenstand mit seiner Mitte auf der Halbirungslinie des parallactischen Winkels, so erhält man nur getrennte Bilder, so lange der Gegenstand selbst nicht größer als $2 (A - R) - a$ ist. Hat der Gegenstand gerade diese Größe, so berühren sich die Bilder.

Befindet sich der Gegenstand in dem Horopter, so wird nach (4) $d = g$, d. h. es tritt vollständige Deckung der Bilder ein, wie sich von selbst versteht, da sich ja der Gegenstand nach unserer Annahme da befindet, wohin derselbe von den Augen gesetzt wird. Hiermit stimmt nach meinen Beobachtungen die Erfahrung vollständig überein, während dies nach der anderen Annahme nicht durchaus sein könnte.

Liegt der Gegenstand jenseits des Horopters, ist also $x > 90^0$, so wird $\cos x$ negativ, aber auch die Lage der Bilder in den Augen in Beziehung zur Axe die entgegengesetzte. Hieraus ergeben sich, wenn der Werth von $R \cdot \cos x$ in der Richtung von A nach M' hin absolut genommen wird:

$$R \cdot \cos x = \frac{A (g - d)}{a + d} \quad \ldots \quad (8)$$

$$d = \frac{A g - a R \cos x}{A + R \cdot \cos x} \quad \ldots \quad (9)$$

$$R \cdot \cos x = \frac{A (g + t)}{a - t} \quad \ldots \quad (10)$$

$$t = \frac{a R \cos x - A g}{A + R \cdot \cos x} \quad \ldots \quad (11)$$

Hieraus folgt, daß die Deckung um so größer ist, je näher das Object an dem Horopter liegt (9), die Trennung dagegen, je weiter dasselbe absteht (11). Die Deckung und Trennung beträgt bei demselben Abstande von dem Horopter

iesseits mehr als jenseits, wie aus (4) und (9), eben so aus (7) und (11) sich rgiebt. Daher kommt es, daß man nur bei sehr entfernten Gegenständen jenseits des Horopters das Auseinandertreten der Bilder besonders deutich wahrnimmt, wenn man einen nahen Punkt fixirt, und darin liegt es eben, aß die meisten Menschen sich gar nicht bewußt werden, daß man überhaupt von edem Gegenstande zwei Bilder erblickt, weil sie gar nicht die Absicht haben doppelt u sehen, wozu eine gewisse Aufmerksamkeit gehört. Hierzu kommt noch, daß für enseits des Horopters liegende Gegenstände, wie aus (10) hervorgeht, ι nicht rößer als a werden, d. h. der gegenseitige Abstand der beiden Bilder nicht größer ls der Abstand der Kreuzungspunkte der Lichtstrahlen in den beiden Augen weren kann, mithin eine kleine Größe (etwa $2^1/_2$ Zoll) nicht überschreitet. Hier ind Täuschungen möglich; setzt man aber nur wirklich die Bilder in die Entrnung des Horopters, wozu allerdings einige Uebung gehört, so findet sich das Resultat bestätigt.

Der größte seitliche Abstand eines jenseits des Horopters liegenden Gegenandes, dessen Mitte noch ein Bild im Auge geben soll, ist

$$R \sin x + {}^1/_2\, g = A - {}^1/_2\, a + R \,.\, \cos x,$$

o cos x als absolut zu behandeln ist.

Die nicht im Horopter liegenden Gegenstände sieht man also eigentlich stets oppelt; bei einem gewissen Abstande des Gegenstandes von dem Horopter, der bhängig ist von der Entfernung des fixirten Punktes, von der Größe des Gegenandes und von dem gegenseitigen Abstande der Kreuzungspunkte der Lichtstrahlen n den Augen, berühren sich die Bilder; bei geringerem Abstande von dem Horopter tritt Deckung ein, die um so bedeutender wird, je näher der Gegenstand em Horopter kommt; bei größerem Abstande findet Trennung der Bilder statt.

Von den auffallenderen Erscheinungen, welche durch das Doppeltsehen mit onst gesunden Augen hervorgebracht werden, erwähne ich den Versuch von Smith *).

Einen Zirkel, dessen Spitzen ein wenig geöffnet sind, halte man mit etwas eruntergedrückten Spitzen und mit gegen die Stirne gekehrtem Gewinde vor das Gesicht und richte die Augenaxen auf einen entfernten Gegenstand in der Linie, velche den Winkel, den die Zirkelschenkel bilden, halbirt; so sieht man zuerst zwei Zirkel, deren innere Schenkel sich durchkreuzen, und werden dann die beiden Schenkel des Zirkels zusammengedrückt, so nähern sich die Bilder der beiden inneren Winkel und fallen in Eins zusammen, welches jetzt sehr lebhaft, dick und lang ussieht und selbst bis an den Horizont sich zu erstrecken scheint. — Es erklärt ch die Erscheinung nach dem oben Mitgetheilten einfach daraus, daß man bei Fixirung eines fernen Punktes die näheren Theile des Zirkels doppelt sieht.

Die Umkehrung des Smith'schen Versuches habe ich **) in folgender Weise angegeben und zur Sprache gebracht. Man hänge ein schmales weißes Band, velches durch irgend einen Gegenstand gespannt ist, z. B. durch den Griff eines Schlüsses gezogen wird, so um den Hals, daß es bei etwas gebückter Stellung in inem Winkel herabhängt, in dessen Spitze der beschwerende Körper sich befindet,

---

*) Optik, übersetzt von Kästner. S. 345. Geschichte der Optik von Priestley, Uebersetzung S. 479.

**) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 588.

und fixire die Spitze dieses Winkels, so sieht man nicht zwei, sondern vier Bänder; rückt man die Bänder, indem man sie oben — in der Nähe des Halses — faßt, näher an einander, d. h. verkleinert man den Winkel, welchen die beiden Bänder bilden, so fallen zwei von den vier erscheinenden Bändern zusammen, bilden ein einziges, im Verhältniß zu den beiden anderen dickeres und helleres Band, welches, je mehr man sich bückt, um so mehr von der verticalen Richtung abweicht und bisweilen horizontal ins Unendliche zu gehen scheint; bringt man die beiden Bänder noch näher an einander, so theilt sich das eben gesehene dritte Band wieder in zwei, die sich kreuzen. — Der Eindruck, welchen man in dem Falle erhält, wenn man nur drei Bänder sieht, ist der überraschendste.

Wir sehen also streng genommen stets doppelt und nur die Stelle einfach, auf welche beide Augenaxen gerichtet sind. Bringt man durch den Druck des Fingers ein Auge aus seiner Lage, so sieht man sofort den Gegenstand doppelt, welchen man eben mit beiden Augen fixirte, weil die Augenaxe des gedrückten Auges verschoben wird, während die des anderen Auges auf den fixirten Punkt noch gerichtet bleibt. Manche Augen haben insofern einen Fehler, als sie an einer gewissen Unbeweglichkeit leiden, so daß die Augenaxen nicht auf jede Entfernung zum Durchschnitt gebracht werden können, also ein Fixiren eines beliebigen Punktes nicht möglich ist. Ich selbst hatte mein Auge durch viele Versuche mit dem Diplometer auf eine kurze Fixirungsentfernung verwöhnt und habe lange Zeit bedurft, ehe ich die Augenaxen wieder für größere Entfernung zur Coincidenz bringen konnte. Uebung thut hierbei viel; jedoch kann man auch durch ein prismatisches Brillenglas dem Fehler abhelfen, indem dadurch das eine Bild so weit zur Seite geschoben wird, daß es mit dem anderen Bilde zusammenfällt, oder so weit nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt wird, daß man es gar nicht sieht, sondern nur das eine Bild wahrnimmt. Da die beiden Augen meistens eine verschiedene Entfernung des deutlichen Sehens haben, so sehen die meisten Menschen in der Regel nur mit einem Auge, ohne daß sie es wissen. Das dominirende Auge ist gewöhnlich das rechte.

In wiefern das Doppeltsehen bei dem Erkennen eines Körpers als Körper in Betracht kommt, das wird im Art. Stereoskop seine Erledigung finden, auf den wir hiermit verweisen.

Der Eindruck, welchen das Licht auf die Netzhaut macht, hält noch eine Zeitlang an, nachdem das Licht, welches diesen Eindruck hervorbringt, schon aufgehört hat die Netzhaut zu treffen. Es erklärt sich hieraus der leuchtende Kreis, welchen man beim Herumschwingen einer glühenden Kohle (des glühenden Endes eines Stockes) erblickt. Auch spricht das Sonnenbild, welches man noch lange nach dem Hineinblicken in die Sonne vor seinem Auge schweben sieht, dafür, daß der Eindruck um so länger andauert, je heftiger der Anstoß im Auge, also je stärker die Lichtintensität gewesen ist.

Newton*) schätzt die Dauer des Lichteindruckes einer geschwungenen glühenden Kohle auf 1 Secunde; d'Arcy**) setzt denselben in Folge von hierüber angestellten Experimenten auf 8 Terzien oder 0,133 Sec.; Segner***) auf

*) Optices lib. III. quaest. XVI.; vergl. auch lib. I. pars II. prop. V. exper. X.
**) Hist. de l'Acad. 1765.
***) De raritate luminis. Gott. 1740.

30 Terzien; Cavallo *) auf 6 Terzien und Thomas Young **), ohne jedoch Versuche anzuführen, auf 0,01 bis 0,5 Sec. fest. Plateau ***) experimentirte, ähnlich wie d'Arcy, mit einem Instrumente, welches aus einem Systeme von verticalen Rädern bestand, die so von Gewichten in Bewegung gesetzt wurden, daß das letzte Rad eine beträchtliche Geschwindigkeit erlangen konnte, während die des Rades mit dem Gewichte nur sehr gering war. Die Axe jenes Rades trug einen Zeiger mit einer Pincette am Ende, bestimmt, die Gegenstände zu halten. Durch Vermehrung oder Verminderung der Gewichte konnte man dem Zeiger alle möglichen Grade von Geschwindigkeit ertheilen, und seine Bewegung, die in den ersten Augenblicken eine beschleunigte war, wurde nach einigen Minuten gleichförmig, weil die Reibung und andere Widerstände mit der Geschwindigkeit wuchsen, und endlich die von der Schwerkraft bewirkte Beschleunigung zerstörten. Das Instrument war überdies, zur Regulirung seines Ganges, mit einem Windfange versehen, und der ganze Apparat wurde in der Höhe des Auges in einiger Entfernung dem Fenster gegenüber aufgestellt. Da das Ende des Zeigers einen Kreisbogen beschrieb, und alle wünschenswerthen Grade von Geschwindigkeit erlangen konnte, so befand sich der farbige Gegenstand unter den erforderlichen Bedingungen. Die Objecte bestanden in gefärbten Papierstreifen, begrenzt durch zwei Kreisbogen, die ihre Mittelpunkte auf der Axe des Zeigers hatten, und durch zwei Radien, die einen rechten Winkel mit einander bildeten. Diese farbigen Papierstücke wurden nun in Drehung versetzt, bis sie einen vollen Kreis bildeten; dann wurde die Zeit eines Umschwunges bestimmt, welche zugleich die Dauer des Lichteindruckes gab.

Als Resultat aus sechs Versuchsreihen erhielt Plateau für die Dauer eines Eindrucks folgende Bestimmungen nach Sexagesimalsecunden:

Weiß	Gelb	Roth	Blau
0,35	0,35	0,34	0,32

Gelb war mit Gummigutt, Roth mit Carmin und Blau mit Berlinerblau getuscht.

Ich selbst habe über die Dauer des Lichteindrucks Versuche angestellt mit Hülfe eines Apparates, wegen dessen Zusammensetzung ich auf meine physikalischen Aufgaben verweise ****). Ich setzte Rechtecke aus gleichmäßig gefärbten Papieren von 8 Zoll Länge und $4^3/_4$ Zoll Breite, desgleichen von 8 Zoll Länge und 3 Zoll Breite auf einer mit schwarzem Sammet überspannten Scheibe in gleichmäßige Rotation, was ich mit Hülfe einer an dem Apparate angebrachten Art von Sirene beurtheilen konnte *****). Wurde die Maschine in Bewegung gesetzt, so zeigte sich bei einer gewissen Geschwindigkeit eine Kreisfläche von der Farbe des Papiers, im Durchmesser gleich der Entfernung der beiden längsten Rechtecksseiten, umgeben von einer eben so gefärbten Kreislinie, deren Durchmesser der Entfernung der beiden kurzen Rechtecksseiten gleich war, und außerdem umgab jene Kreisfläche

*) Naturlehre, übersetzt von Trommsdorff.
**) A Course of lectures on natur. philos. T. I. p. 455.
***) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 304—332.
****) Physikal. Aufgaben von Emsmann 1852. S. 55. Aufg. 20.
*****) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 611. L'Instit. 1854. p. 276. Jahresbericht von Liebig und Kopp. 1854. Bd. I. S. 182.

ein durchscheinender, zackiger Schleier, welcher noch über die bezeichnete Kreislinie hinausging, so daß die Spitzen der Zacken auf der Peripherie eines Kreises lagen, dessen Halbmesser gleich der halben Diagonale des Rechtecks war. Die Zwischenräume der Zacken erschienen bogenförmig begrenzt. War die Umdrehungsgeschwindigkeit noch nicht groß genug, so bildete sich die Kreisfläche nicht und die spitzen Zacken waren nicht wahrzunehmen; war die Kreisfläche entstanden und nahm die Geschwindigkeit ab, so verlor sich die Form des Kreises.

Es wurde nun die Zeit bestimmt, welche bei gleichförmiger Geschwindigkeit nöthig war, die Kreisfläche eben noch nicht rein hervortreten zu lassen, so daß die Geschwindigkeit jedenfalls eher zu klein, als zu groß war. Die benutzten Farben waren aus Papierbogen geschnitten, wie man sie bei den Buchbindern findet, also glänzend, und ergaben folgende Resultate.

Bei Tage:

Dunkel-Blau	Gelb	Mittel-Grün	Dunkel-Grün	Weiß	Roth	Mittel-Blau
0,29	0,27	0,26	0,26	0,25	0,24	0,22

Beim Lichte einer sogenannten Schiebelampe:

Dunkel-Blau	Dunkel-Grün	Gelb	Weiß	Roth	Mittel-Grün	Mittel-Blau
0,35	0,35	0,31	0,30	0,29	0,26	0,26.

Im Allgemeinen erhielt ich also kleinere Zeitbestimmungen als Plateau; zwischen Weiß und Gelb zeigte sich bei mir ein entschiedener Unterschied. Als ich mit Papier experimentirte, welches wie bei Plateau getuscht war, erhielt ich im Tageslichte:

Gelb	Weiß	Roth	Blau
0,25	0,25	0,22	0,21.

Der Lichteindruck war also durch den Glanz des zuerst angewendeten Papiers verstärkt worden.

Daß die Dauer des Eindrucks bei Lampenlicht größer ist, als bei Tageslicht, kommt jedenfalls daher, daß bei der Beleuchtung durch eine Lampe (wenigstens hatte ich keine andere Beleuchtung im Zimmer, als die eine zu den Versuchen benutzte Lampe) die Farbe gegen die wenig erleuchtete Umgebung mehr absticht, das Auge wohl auch in einem solchen Falle reizbarer ist für den Farbeneindruck, weil die Umgebung eben einen weniger intensiven Eindruck macht. Daß die Dauer des Lichteindrucks bei Farben, die man des Abends bei Licht nicht zu unterscheiden vermag, dann gleich groß ist, ist interessant, so daß diese gleiche Dauer des Eindrucks der Grund für die Nichtunterscheidbarkeit sein dürfte. Auch Parrot *) bemerkte einen Unterschied in der Dauer des Lichteindrucks im Hellen und Dunkeln und zwar bei einer glühenden Kohle im Hellen 10 Terzien, im Dunkeln 15 Terzien.

Plateau machte noch Versuche an Scheiben mit zwölf schwarzen und zwölf gefärbten Feldern, von denen jedes $1/_{24}$ der Kreisfläche einnahm, und erhielt für die Dauer eines Umlaufes, sobald ein gleichförmiger Farbenton hervorgebracht war, in Secunden:

---

*) Entretiens sur la Physique VI. Tom. 8. Dorpat 1819 — 24. III. 235. Vergl. Gehler's phys. Wörterb. N. Bearb. Bd. IV. S. 1457.

Weiß	Gelb	Roth	Blau
0,191	0,199	0,232	0,295.

Auch ich habe diese Versuche wiederholt mit Kreisflächen von den oben bezeichneten glänzenden Papieren, in denen ich 12 Sectoren ausgeschnitten hatte. Indem ich das Minimum der Umdrehungszeit zu ermitteln suchte, fand ich:

Weiß	Gelb	Roth	Mittel-Blau
0,55	0,58	0,62	0,72.

Die Reihefolge meiner Zahlenwerthe stimmt mit der Plateau's und somit ist jedenfalls der Schluß gerechtfertigt, daß der Eindruck des Blauen langsamer abnimmt als der des Rothen, dieser langsamer als der des Gelben und dieser wieder langsamer als der des Weißen. Der schwächere Eindruck nimmt also langsamer ab als der stärkere; nur stimmt hiermit mein Resultat in Bezug auf Weiß und Gelb nicht.

Für eine Dauer des Lichteindruckes, und zwar für die verschiedenen Farbestrahlen in verschiedenem Maße spricht ebenfalls das sogenannte Abklingen der Farben. Es ist dies die bekannte Erscheinung, daß man, nachdem man in die helle Sonne geblickt hat, noch kürzere oder längere Zeit ein Bild der Sonne in verschiedenen Farben vor den Augen schweben sieht; aber nicht blos beim Hineinblicken in die Sonne, sondern überhaupt, wenn man eine Zeitlang auf einen hellen Gegenstand hingesehen hat, und dann die Augen schnell schließt oder ins Finstere richtet, hat man das Bild des gesehenen Gegenstandes noch eine Weile vor sich.

Die Untersuchung der hierher gehörigen Erscheinungen ist noch nicht weit gediehen, und Fechner's trauriges Loos, der sich mit besonderem Eifer diesem Studien widmete, dabei aber großentheils sein Augenlicht verlor, scheint ganz besonders abschreckend gewirkt zu haben, so daß die Ergebnisse seiner Forschungen immer noch das Bedeutendste ausmachen, was wir hierüber besitzen. Goethe *) beschreibt oberflächlich ein hierher gehöriges Phänomen. Wenn man nämlich einen vom Sonnenlichte erhellten weißen Fleck im finsteren Zimmer betrachtet und nun in einem mäßig erleuchteten Zimmer auf einen hellgrünen Gegenstand sieht, so schwebt dem Auge ein dunkles Bild vor, welches sich nach und nach von Außen mit einem grünen Rande einfaßt, welcher sich immer mehr über das ganze Rund hineinwärts verbreitet. Ist dies geschehen, so sieht man ein schmutziges Gelb. Darwin **) giebt auch nur einige mangelhafte Notizen, und Purkinje ***) hat eben so nur den Beginn des Phänomens untersucht, wobei er sich überdies einer Kerzenflamme bediente, wodurch jedenfalls die Erscheinung nicht rein hervortreten konnte, da das Kerzenlicht ein sehr zusammengesetztes Gelb ist.

Purkinje schaute 12 bis 60 Secunden lang in eine Kerzenflamme, und bedeckte darauf das Auge schnell mit der Hand. Im ersten Momente erblickte er noch das blendende Flammenbild in seiner ursprünglichen Art. Dies verschwand aber blitzschnell von Außen nach Innen und machte einem gelben Bilde Platz. Dieses dauerte länger als das vorige und verschwand dann auf gleiche Weise,

*) Farbenlehre, Bd. I. S. 15.
**) Phil. Transact. T. LXXVI. p. 330.
***) Beobachtungen und Versuche. Bd. I. S. 97.

worauf ein rothes an seine Stelle trat; diesem folgten successiv in derselben Art ein blaues, ein mild weißes und ein schwarzes Farbenbild, und zwar so, daß jedes später verschwindende immer länger stehen blieb, als jedes vorhergehende, bis auf das schwarze, welches am längsten stand, welches endlich auch von einem grauen Scheine, der die ganze Erscheinung umgab, verschlungen wurde. Die farbigen Flammenbilder traten nicht nach dem Verlöschen des vorhergehenden auf, sondern während das eine sich nach dem Mittelpunkte zusammenzog, erschienen an den Rändern schon die folgenden Farbenbilder einander überragend und mit abnehmender Geschwindigkeit sich nach dem Mittelpunkte concentrirend.

Fechner *) fixirte die Objecte bei seinen Versuchen 30 bis 60 Sec. lang, nur beim Sehen in die Sonne durch Farbengläser war die Zeit in der Regel kürzer. Das Object war meistens kreisförmig, von $19^1/_2$ Par. Lin. Durchmesser und wurde in der Regel aus etwas größerer Ferne als der deutlichsten Sehweite betrachtet. Er fand es begründet, daß jede spätere Phase länger als die vorhergehende dauert; bestätigt auch, daß immer ein den Grund überlaufender Schein das ganze Phänomen verschlingt. Eine Nüancirung der Farbe des Nachbildes am Rande, welche vom Nachbilde selbst nicht deutlich abgegrenzt ist, sondern nach Innen sich in dieses verläuft, nennt er Saum; einen nach Innen und Außen abgegrenzten Ring von erheblicher Breite um das Nachbild — von anderer Farbe als dieses — Umring; eine vom Nachbilde oder einem Umringe desselben sich mit abnehmender Intensität in den Grund hinein verlaufende, mehr oder weniger verbreitete, Färbung oder Hellung — Randschein. Entwickelt sich ein Umring um einen centralen Theil des Nachbildes, so sind die Farben desselben stets solche, die später der centrale Theil selbst annimmt, indem die Farbe des letzteren gleichsam erlischt und nun die Farbe des Umringes seinen Raum mit erfüllt. Die verschiedenen Umringe, deren Farben successiv im centralen Theile erscheinen werden, entwickeln sich selbst auch successiv einer um den anderen. Oft sind deren mehrere zugleich sichtbar, indem ein späterer Umring sich schon entwickelt, ehe die Farbe des vorherigen central geworden ist. Verlischt das Phänomen schon, ehe die Farbe eines Umringes central wurde, so kann man annehmen, daß bei gehöriger Intensität sich noch eine centrale Phase in der Farbe des Umringes entwickelt haben würde. Manchmal kann durch eine leichte Bewegung der Augenlider momentan eine spätere Phase hervorgerufen oder eine frühere zurückgerufen werden. Je intensiver das Licht ist, durch welches die Nachbilder erzeugt werden, desto schöner, intensiver, langsamer verlaufen die Phasen des Nachbildes. Will man die ersten — am schnellsten verlaufenden — Phasen beobachten, so kann dies nur bei starkem Lichteindrucke geschehen.

In das Detail von Fechner's Versuchen einzugehen, dürfte uns hier zu weit führen; wir beschränken uns daher auf einige Notizen. Er beobachtete Blendungs-Nachbilder nach Betrachtung von Weiß auf Schwarz, dann von Schwarz auf Weiß und drittens nach dem Sehen durch farbige Gläser oder Flüssigkeiten in die Sonne. Im ersten Falle erzeugte er die Blendungsbilder, indem er entweder eine kreisrunde Oeffnung von $17^1/_2$ Par. Lin. Durchmesser im Laden eines finsteren Zimmers, durch welche der mit weißen Wolken bedeckte Himmel betrachtet wurde, als Object benutzte, oder indem er eine ungefähr gleich große

*) Pogg. Ann. Bd. L. S. 445.

Scheibe weißen Papiers auf schwarzem Papier im directen Sonnenlichte betrachtete, oder eine auf schwarzem Papier liegende Scheibe weißen Papiers durch Sonnenlicht, welches mittelst eines großen Brennglases darauf concentrirt wurde, beleuchtete und fixirte, oder die Sonne selbst, bei meist weißdunstigem oder nur sehr hellblauem Himmel und nicht zu tiefem Stande, direct und momentan anschaute. Schloß er die Augen und bedeckte er diese überdies noch mit den Händen, so war 1) das Nachbild noch weiß, ging aber schnell vorüber, dann folgte 2) ein lichtblaues Nachbild mit grauem oder schwarzem Grunde, ebenfalls schnell vorübergehend; 3) lichtgrün, mit rothgelbem Saume; 4) der dunkelrothe Umring wurde central, es entwickelte sich ein blauer Saum und daraus ein blauer Umring, um welchen sich ein weißlicher, mehr oder weniger grün nüancirter Randschein verbreitete, — lange anhaltend —; 5) eine dunkelblaue, bisweilen lilafarbene Phase schloß die Erscheinung, indem sie in Schwarzgrün oder Blaugrün überging. Wegen der Modification dieser Versuche verweisen wir auf die angeführte Abhandlung. — Im zweiten Falle verwendete er als Object eine schwarze kreisförmige Papierscheibe, die entweder an ein Fenster geklebt und gegen den, mit weißen Dünsten oder Gewölk bedeckten Horizont bei übrigens hellem Himmel, oder auf weißes Papier gelegt und im directen Sonnenlichte betrachtet wurde. Schloß und bedeckte er hier die Augen mit den Händen, so zeigte sich 1) eine dunkle, schnell vorübergehende Phase; es folgte 2) Rostgelb oder Rothgelb auf schönem blauen Grunde; 3) Rothschwarz oder Braunrothschwarz anfangs mit blauem oder blaugrünem, dann mit schön grünem Grunde; aus dieser Erscheinung grenzte sich 4) eine, anfangs matt graublaue Kreisfläche ab, so daß ein dunkler Umring von der Farbe der vorigen Phase daraus stehen blieb. Dieses Graublau wurde immer heller; zugleich aber wurde der grüne Grund immer trüber und ging bei steigender Helligkeit des graublauen Bildes allmälig durch schmutziges Gelbgrün in Rothviolett über, womit er zugleich deutlich dunkler als das graublaue Bild erschien, welches anfangs nicht oder kaum heller als der Grund war; das Graublau wurde 5) allmälig entweder unmittelbar oder nach einem Durchgange durch Grün gelblich, doch nicht gleichförmig; es melirte sich vielmehr gleichsam mit dem Gelblich, behielt aber einen blauen Saum. Der Grund wurde immer dunkler rothviolett, allmälig schwarzlila. Manchmal schien im melirten Bilde das Gelbliche, andere Male das Graulichblaue zu überwiegen. Wurden während dieser Phase die Augenlider momentan nur wenig zusammengekniffen, so ging das Bild momentan in schönes reines Blau über. Zog man die Hand von den Augen weg, ließ sie aber geschlossen, so entstand ein intensiv rothgelbes Bild mit grünem Umringe. — Im dritten Falle beobachtete er im Allgemeinen auf folgende Weise: Vor dem oben angegebenen Loche im Laden des finsteren Zimmers war außerhalb desselben ein stellbarer Spiegel, wie beim Sonnenmikroskope, befestigt, um aus dem finsteren Zimmer durch das Loch in das Spiegelbild der Sonne sehen zu können. Das Loch wurde mit dem farbigen Mittel verschlossen, und die Betrachtung geschah so lange, als es die Augen ohne übermäßige Reizung ertragen konnten, wonach sie geschlossen und noch überdies mit den Händen verdeckt wurden. Sieht man hierbei direct durch ein farbiges Glas in die Sonne, so ist das Sonnenbild auffallenderweise nur wenig gefärbt, fast weiß oder gelb und höchstens in schwachem Grade nüancirt es sich durch die Farbe des Glases, während das auf die gegenüberstehende Wand

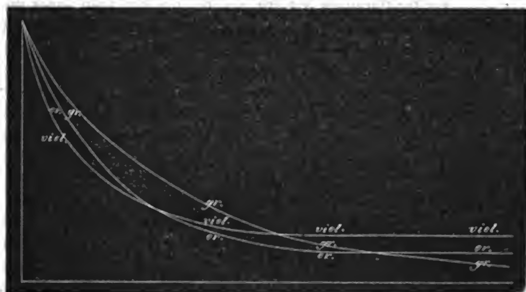
des finsteren Zimmers fallende Bild deutlich von der Farbe des Glases ist. Die erste Phase des Nachbildes erscheint in der Regel in dem zwar intensiven, aber nur schwach farbigen Lichte, bisweilen jedoch gleich anfangs in der Farbe des Glases. Gewöhnlich sah Fechner im ersten Momente, wenn er das Auge schloß, gar nichts, als ob das Auge betäubt wäre und einiger Augenblicke bedürfe, um sich zu erholen. Er wendete verschiedene gefärbte Mittel an: homogenes Roth, zusammengesetztes Gelb, Grün, Blau, homogenes und zusammengesetztes Violett. Von den gemachten Beobachtungen mögen wenigstens die mit homogenem Roth gewonnenen hier eine Stelle einnehmen.

Das Sonnenbild erschien bei directer Betrachtung eher gelb als roth. Eben so blendend gelb erschien das Nachbild, hatte aber einen etwas minder hellen (doch den Grund noch sehr an Helligkeit übertreffenden) rothen Umring, dessen Farbe merklich mit derjenigen übereinstimmte, welche das Sonnenbild zeigte, wenn es durch das mit rothem Glase verdeckte Loch des finsteren Zimmers auf eine weiße Wand fiel. Es schien sonach der rothe Umring nur durch eine mindere Intensität des primären Eindrucks vom Centralfleck verschieden. Um den rothen Umring entwickelte sich allmälig ein schwarzgrüner oder schwarzblaugrüner Umring, dunkler als der etwas hell überlaufene, doch nicht deutlich farbige Grund. Das helle Nachbild stand wohl Minuten lang im Auge, selbst wenn die Betrachtung des Sonnenspiegelbildes nur wenige Momente stattgefunden hatte, und fast immer verschlang ein immer heller werdender, weißlichröthlicher Schein des Grundes die Erscheinung, noch bevor der grüne Umring central geworden war, während der rothen oder selbst schon während der blendend gelben Phase, indem er, den schwarzgrünen Umring mit überziehend, sich mit dem Roth und Gelb des Centrums mischte. Einige Mal erhielt Fechner wirklich die vollständig grüne Phase. Geht man während der gelben oder rothen Phase in ein helles Zimmer und richtet die geöffneten Augen auf Weiß, so sieht man vollständiges Blaugrün, wofern es nur nicht gar zu bald nach dem Augenschlusse geschieht.

Die Bezeichnung der Erscheinung als ein Abklingen der Farben deutet auf eine Analogie, die man zwischen ihr und dem bekannten akustischen Phänomen, dem Nachklingen einer Saite nach aufhörendem Impulse, gefunden hat. Damit ist indessen noch keine Erklärung gegeben. Der Gegenstand scheint überhaupt noch nicht zum Abschlusse reif; die Resultate der Beobachtung geben uns bis jetzt nur einige Anhaltepunkte für eine künftige Theorie. So scheint der dunkle Schleier, mit dem sich ein auf schwarzem Grunde angeschautes weißes Papier allmälig überzieht, da er nicht rein grau ist, sondern durch verschiedene Farben abklingt, darauf zu deuten, daß die Empfindlichkeit des Auges für die verschiedenen Farbenstrahlen, welche das Weiß zusammensetzen, bei Betrachtung desselben nicht für alle gleichzeitig nach demselben Verhältniß abnimmt. Ein im directen Sonnenlichte auf schwarzem Papiere liegendes weißes Feld erscheint dem beobachtenden Auge nach kurzer Zeit gelb, dann blaugrau oder blau, endlich rothviolett oder roth. Von dieser ungleichen Abnahme der Empfindlichkeit des Auges für die verschiedenen Farbenstrahlen ausgehend, hat Fechner (a. a. O. S. 207) den Hergang zu veranschaulichen gesucht, ohne jedoch damit die Sache für erledigt zu erklären.

Nehmen wir nämlich der Einfachheit wegen an, das ganze Spectrum bestehe blos aus Violett, Grün und Orange, und stellen wir die Stärke, mit der jede dieser Farben zu den verschiedenen Zeitpunkten vom Anfange der Betrachtung an

empfunden wird, durch die Ordinaten einer Curve vor, wozu die Zeit die Abscissen hergiebt; so wird sich die Abscissenlinie, da die Intensität immer abnimmt, aber nie ganz Null werden kann, als eine Asymptote der Intensitätscurven betrachten lassen. Nehmen wir nun an, daß diejenige Intensitätscurve, welche zu Anfange den schnellsten Fall der Ordinaten zeigt, auch am frühesten mit diesem Fall inne halte, indem sie fast parallel mit der Abscissenlinie fortzuschreiten beginnt; daß dagegen, je langsamer zu Anfange die Ordinaten sinken, um so längere Zeit und bis zu um so größerer Tiefe der Fall bemerklich fortschreite, so läßt sich der Gang der Erscheinung durch beistehende Figur repräsentiren. Hier sieht man, wie, so lange sich die Curven noch nicht merklich trennen, Weiß erscheinen muß dann



überwiegen Grün und Orange (zusammen Gelb) das Violett, weiterhin überwiegen Grün und Violett (zusammen Blau) das Orange, noch weiterhin überwiegt Violett und Orange (zusammen Roth) das Grün.

Auffallen muß es zwar, daß hiernach die Intensitätscurve für Grün ihre Stelle zu Anfange nicht zwischen Orange und Violett hat, wie es dem Spectrum zufolge sein zu müssen scheint; es ist jedoch fraglich, ob die Eigenschaft der Brechbarkeit mit dem in Rede stehenden Phänomen etwas zu schaffen habe.

Daß das Nachbild, welches ein helles Object, auf dunklem Grunde betrachtet, im Auge zurückläßt, anfangs heller als seine Umgebung erscheint, dann aber die Erscheinung sich umkehrt, indem sich das Nachbild verdunkelt, der Grund aber, auf dem es erscheint, erhellt, rührt offenbar daher, daß anfangs die Fortdauer des Lichteindrucks noch das Uebergewicht hat über den Einfluß, welchen das complementäre Bild zu erzeugen strebt, später aber letzterer überwiegt. Hierbei befolgen jedenfalls die verschiedenen Farbenstrahlen, welche das weiße Licht zusammensetzen, einen verschiedenen Gang, indem der primäre Eindruck derselben nicht gleichzeitig in ihnen verschwindet, der complementäre nicht gleichzeitig hervortritt. Je homogener die Farbe des primären Eindrucks ist, desto mehr vereinfacht sich deshalb auch das Phänomen des Farbenabklingens.

Ueber die verwandte Erscheinung des Auftretens complementärer Färbungen vergl. Art. Farbe, Bd. III. S. 44 ff.

Aus der Dauer des Lichteindrucks erklären sich gar viele Erscheinungen, z. B. der feurige Schweif, welchen Leuchtkugeln, Sternschnuppen und dergleichen hinter

sich lassen, eben so daß der Blitz, welcher mit so großer Geschwindigkeit seinen Weg zurücklegt, der ganzen Länge dieses Weges nach als feurige gezackte Linie erscheint. Auch hat man besondere Apparate construirt, deren Wirkung sich auf diese Dauer des Lichteindrucks gründet. Wir erwähnen als solchen das von de Paris erfundene Thaumatrop (von θαῦμα, Wunder, und τρέπω, ich wende, drehe) *).

Das Thaumatrop besteht gewöhnlich aus einer Anzahl kreisförmiger Scheiben von Kartenpapier von 2 bis 3 Zoll Breite, die vermittelst je zweier an den entgegengesetzten Punkten der Scheibe angebrachter Fäden durch den Daumen und Zeigefinger in eine sehr schnelle drehende Bewegung gesetzt werden können. Auf jeder Seite der kreisförmigen Scheibe befindet sich der Theil eines Gemäldes oder verschiedene Theile derselben Figur, so daß diese Theile, wofern wir sie zu gleicher Zeit sehen könnten, entweder eine Gruppe oder eine ganze Figur bilden würden. So ist z. B. ein Vogelbauer auf der einen Seite, auf der anderen ein Vogel. Beim Umdrehen der Scheibe erscheint der Vogel im Bauer, weil der Eindruck des Bildes auf der einen Seite noch fortdauert, wenn das Auge von dem Bilde auf der anderen Seite einen Eindruck empfängt. Die Drehaxe der Scheibe muß genau durch den Mittelpunkt der Scheibe gehen oder vielmehr die Zeichnungen müssen in bestimmten Abständen von dieser Drehaxe stehen, damit die correspondirenden Punkte beider zusammenfallen. Der Entwurf der Zeichnungen ist übrigens so einfach, daß wir hier nur noch hinzufügen, daß man dieselbe Erscheinung schon hat, wenn man an einer festen Axe nur einseitig ein steifes Blatt anbringt und dies auf beiden Seiten mit den Figuren bemalt, von denen dann die eine die obere, die andere die untere Hälfte vorstellt, z. B. die eine den Stamm eines Baumes, die andere die Krone desselben.

Eben hierher gehören die von Stampfer in Wien 1833 **) erfundenen stroboskopischen Scheiben, welche übrigens selbstständig auch Plateau ***) zu derselben Zeit unter dem Namen Phänakistiskop, Phantaskop oder Phantasmaskop angegeben und ausgeführt hat. Der Apparat besteht aus runden Pappscheiben von 6 bis 10 Z. Durchmesser, die in ihrem Mittelpunkte um einen horizontalen metallenen Stift, der an einem hölzernen Griffe befestigt ist, durch Anschlagen mit der Hand in schnelle Drehung versetzt werden können. Die Scheiben sind in gleichen Abständen von einander am Rande mit viereckigen Oeffnungen von etwa $^3/_4$ Zoll Höhe und $^1/_2$ Zoll Breite versehen und auf der einen Seite mit Figuren bemalt. Diese Figuren sind nach folgendem einfachen Principe ausgeführt. Gesetzt man wolle die Bewegung zur Anschauung bringen, welche eine Person macht, die ein Stück Holz zersägt. Man theilt dann die Zeit, welche zu einer vollständigen Bewegung erforderlich ist, in so viel gleiche Theile, als die Scheibe am Rande Oeffnungen hat, z. B. in acht, und zeichnet die Figur in demjenigen Zustande, in welchem sie in jedem dieser Zeitabschnitte sich befinden muß, unter die Oeffnung, also unter die Oeffnung 1 die Stellung

*) Edinb. Journ. of Science. No. VII. p. 87.

**) Jahrb. des polyt. Instit. in Wien. Bd. XVIII. S. 237.

***) Correspond. astronom. et phys. de l'Observ. de Bruxelles. T. IV. p. 393; T. VI. p. 121; T. VII. p. 365; vergl. Ann. de Chim. et de Phys. T. LIII. p. 304 und Pogg. Ann. Bd. XXXII. S. 647.

der Säge, wo sie an ihrem unteren Ende auf dem Holze liegt, unter die Oeffnung 3, wo ihre Mitte auf dem Holze sich befindet, unter die Oeffnung 5, wo das Holz an dem oberen Ende der Säge liegt, unter die Oeffnung 7 wieder die Lage in der Mitte und unter die Oeffnungen 2, 4, 6 und 8 die Zwischenlagen. Hält man die so bemalte Scheibe gegen einen Spiegel, so daß man durch eine der Spalten sehend die Spiegelbilder erblickt, und setzt dieselbe in schnelle Bewegung, so werden der Reihe nach die verschiedenen Stellungen vor dem Auge vorübergehen und im Spiegel erblickt man die Figur in Bewegung, da sich die Stellungen an einander reihen, indem der Eindruck der einen noch nicht verschwunden ist, wenn der Eindruck der folgenden in das Auge gelangt. Man kann den Apparat insofern vereinfachen, als man nur eine einzige Scheibe mit den Spaltöffnungen benutzt und auf diese bemalte Pappscheiben von einem geringeren Durchmesser concentrisch auflegt, so daß beide gleichzeitig sich drehen. Dann kann man jede Scheibe auf jeder Seite mit einer Darstellung bemalen.

Wir bemerken nur noch, daß, je breiter die Spaltöffnungen sind, das Bild zwar schärfer wahrgenommen wird, aber der Uebergang der einen Stellung in die andere nicht leicht zur Empfindung kommt. Nimmt man die Dauer des Lichteindrucks zu $^2/_{10}$ Secunden an, so muß die Geschwindigkeit der Drehung wenigstens so groß sein, daß 5 Abbildungen in einer Secunde vor dem Auge vorübergeführt werden; indessen darf die Geschwindigkeit auch nicht zu groß werden, da sonst gar kein Eindruck auf das Auge möglich wird.

Ein den stroboskopischen Scheiben ähnlicher Apparat ist das Dädaleum von Horner *). Auf dem Rande einer rotirenden Scheibe steht ein hohler Cylinder, der mit gleich weit von einander abstehenden Spaltöffnungen versehen ist. Auf der Innenseite befinden sich gewöhnlich transparente Figuren, die in ihrer Stellung und Anzahl den Oeffnungen entsprechen.

Das 1836 von Plateau erfundene Anorthoskop (s. d. Art. Bd. I. S. 231) beruht gleichfalls auf der Dauer des Lichteindrucks **).

Eine hübsche Erscheinung bringt Plateau ***) durch 2 Scheiben von steifem Papiere hervor, von denen die eine 30, die andere 33 Centim. Durchmesser hat. Die erste ist in acht gleiche Sectoren getheilt, von denen je zwei gegenüberstehende gleich gefärbt sind, nämlich roth, schwarz, blau und weiß; die andere ist schwarz und hat zwei Ausschnitte, die nur bis auf 3 Centim. zum Umfange gehen, von dem Mittelpunkte 2 Centim. abstehen und eine Winkelbreite haben, die nur drei Viertel von der der bemalten Sectoren beträgt. Bewegt sich die bemalte Scheibe hinter der ausgeschnittenen und ist nur eine geringe Differenz in der Geschwindigkeit beider, so geht das Blau und Roth von der schwächsten Nüance bis zum vollen Farbentone allmälig über und nimmt dann eben so wieder ab, so daß man eine Art Farbenklavier erhält.

Ueber eine Verbindung des Anorthoskops mit den stroboskopischen Scheiben handelt die letzte der oben angeführten Stellen, was wir hier nur der Vollständig-

*) Pogg. Ann. Bd. XXXII. S. 650.

**) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 464; vergl. auch Bd. LXXVIII. S. 563; Bd. LXXIX. S. 269 u. Bd. LXXX. S. 150 u. 287.

***) a. a. O. Bd. LXXVIII. S. 563.

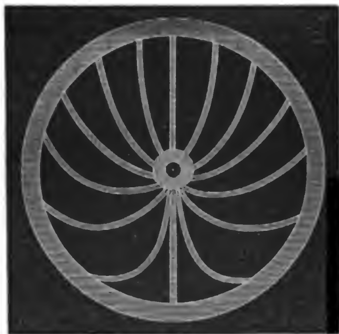
keit wegen erwähnen. Eben so ist daselbst eine Verbindung des Stereoskops mit den stroboskopischen Scheiben angedeutet.

Zu den aus der Dauer des Lichteindruckes zu erklärenden Erscheinungen gehört auch die, auf welche Talbot *) und Poggendorff **) die Aufmerksamkeit gelenkt haben. Befestigt man an der hinteren Seite eines Spiegels einen Draht, biegt ihn dann nach vorn, so daß sein vorderes Ende mit der Axe parallel läuft, um welche der Spiegel sich in schnelle Rotation versetzen läßt, so sieht man das Drahtende nicht. Stellt man jedoch in der Entfernung von einigen Fußen vor dem Spiegel eine brennende Kerze auf, so giebt das reflectirte Bild derselben einen Lichtpunkt und der Draht wird sichtbar. Der Draht geht nämlich bei jedem Umlaufe des Spiegels einmal vor der Kerzenflamme vorbei und wirft dann seinen Schatten in den Spiegel; bleibt nun der Lichteindruck von einem Vorübergange bis zu dem nächstfolgenden, so muß er an dieser Stelle sichtbar bleiben.

Daß man die Irradiation durch eine Ausbreitung des Lichteindrucks auf die Netzhaut hat erklären wollen, darüber ist Art. Irradiation, Bd. IV. S. 129 zu vergleichen.

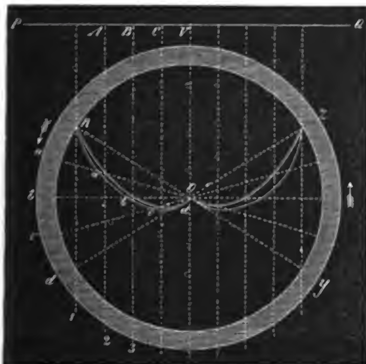
Ueber die Mischfarben, welche durch Rotation einer in verschiedenen Sectoren mit verschiedenen Farben bemalten Scheibe hervorgebracht werden, enthält Artikel Farbe, Bd. III. S. 35 ff. das Nähere. Auch das über subjective Farben ebendaselbst S. 44 ff. Mitgetheilte gehört mehr oder weniger hierher.

Folgende Erscheinung, von welcher Roget ***) zuerst eine erläuternde Darstellung gegeben hat, gehört gleichfalls noch hierher. Wenn man durch ein Gitter von horizontalen, am besten schwarzen, nicht weiter von einander entfernten Stäben, als daß mindestens drei auf die Länge einer Radspeiche gehen, ein um seine Axe gedrehtes und zugleich in horizontaler Richtung bewegtes Wagenrad betrachtet, oder wenn das Rad um seine Axe gedreht und das Gitter in horizontaler Richtung bewegt wird, so erscheinen die zwei Speichen, welche ganz zwischen die Oeffnung der Stäbe fallen, gerade, alle übrigen aber gekrümmt, wie es die nebenstehende Figur veranschaulicht. Die Erscheinung tritt erst ein, wenn die Bewegung des Rades eine gewisse Geschwindigkeit erreicht hat, dann aber ist die Krümmung auch bei zunehmender Geschwindigkeit sich stets gleichbleibend. Roget construirt die Erscheinung sehr einfach geometrisch. Ist nämlich in der umstehend beigefügten Figur die Bewegung des Rades in der Richtung PQ und findet zugleich eine Rotation



*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XX. p. 113.
**) Dessen Ann. Bd. XXXII. S. 649
***) Pogg. Ann. Bd. V. S. 93.

um die Axe O statt, bezeichnen ferner die Linien A B C . . . die Richtungen, in denen die Orte, welche die einzelnen Theile der Speichen optisch einnehmen, durch die Zwischenräume der lothrechten Stäbe gesehen werden, stellen R O und O Y zwei einander diametral gegenüberstehende Speichen vor, welche bei der Bewegung durch die Räume $A_1 B_2 C_3$ . . . in die Lagen a b c . . . kommen, dauert endlich der Lichteindruck des Speichentheils auf das Auge in seiner Lage bei R so lange fort, bis der nächste Theil der Speiche bei a, der nächste bei b, der nächste bei c . . . gesehen wird, so muß die Speiche diejenige Krümmung erhalten, welche durch die Intersectionspunkte gegeben wird, also die Figur der Curve R a b c . . . annehmen. Indem auf der anderen Seite des Rades der nämliche Fall, jedoch, die Richtung betreffend, entgegengesetzt eintritt, so folgt, daß in V O die Speichen gerade, auf beiden Seiten aber entgegengesetzt gekrümmt erscheinen müssen.



Faraday *) hat einen besonderen Apparat angegeben, wo die Erscheinung durch zwei concentrische Räder erzeugt wird, von denen das eine von dem anderen bewegt wird. Plateau **) macht auf die Erscheinung aufmerksam, welche sich zeigt, wenn man in der Ebene eines sich schnell drehenden Kronrades die vorderen Zähne vor den hinteren sich bewegen sieht. Es zeigt sich dann noch ein stillstehendes Rad. Ich selbst habe ***) darauf hingewiesen, daß man dieselbe Erscheinung an dem bekannten Abplattungsmodelle wahrnimmt, sobald dies durch die Schwungmaschine in Bewegung gesetzt wird, indem hier die vorderen Reifen mit den hinteren sich schneiden. Endlich habe ich ****) eine einfache Methode angegeben, wie man die Erscheinung in ganz besonderer Schönheit erzeugen kann. Man befestige auf der Scheibe der Schwungmaschine ein Blatt weißen Papiers und in dem Centrum ein aus Pappe geschnittenes Rad mit möglichst vielen, z. B. 36 Speichen, welches etwa 1/2 Zoll über dem Papiere, mit diesem parallel, liegt. Das Rad wirft einen Schatten auf das Papier und durch die Durchkreuzung der Radspeichen und Schattenspeichen entstehen die schönsten Curven, namentlich wenn man unter einem kleinen Winkel gegen die Radfläche die Erscheinung beobachtet.

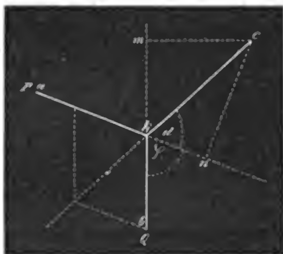
Ueber die Phänomene, welche von einem krankhaften Zustande des Auges

*) Pogg. Ann. Bd. XXII. S. 601.
**) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 330.
***) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 326.
****) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 618.

bedingt werden, so wie über manche andere, die Theorie des Sehens betreffende Umstände enthält das Nähere der Art. Sinne. H. E.

Seilmaschine. Man bezeichnet hiermit zwei verschiedene Arten von Maschinen. Die Vera'sche Seilmaschine ist eine Vorrichtung zum Wasserheben und besteht aus einem oder mehreren Seilen (Stricken) ohne Ende, die um zwei Rollen oder Wellen A und B gehen, von denen die eine A in dem Wasserbehälter, die andere (obere) B in einem Kasten an der Stelle sich befindet, wohin das Wasser gehoben werden soll. Die Welle B läßt sich mittelst einer Kurbel um ihre Axe drehen, und wenn sie gedreht wird, führt sie die Seile mit sich. An den letzteren adhärirt aber das im Behälter befindliche Wasser, welches mit ihnen hinaufgeht, so daß bei hinreichend schnellem Drehen die aufsteigenden Seile mit einer dicken Wasserschicht umgeben sind, die oben beim Wenden der Seile in den Kasten herunterfließt, von wo aus das Wasser durch eine Röhre weiter geleitet werden kann. Die Wirksamkeit dieser Maschine kann zwar durch mancherlei Verbesserungen bedeutend vermehrt werden, aber es bleibt immer eine ziemlich beträchtliche Reibung zu überwinden, wozu noch der Uebelstand kommt, daß die Stricke im Wasser leicht verderben.

Sodann nennt man Seilmaschine (auch Stangenmaschine genannt) eine Verbindung von Seilen (oder Schnüren, Riemen, Ketten), die durch Kräfte auf gewisse Weise angespannt sind. Da, wo eine Kraft angreift, entsteht am Seile eine Biegung oder ein Winkel, und einen solchen Angriffspunkt der Kraft nennt man einen Knoten, der entweder fest oder beweglich ist. In einem derartigen Knoten vereinigen sich gewöhnlich mehrere Seile, deren Anzahl zwar beliebig groß sein kann, doch genügt es zur Einsicht in das Wesen dieser Vorrichtung, wenn man die Betrachtung auf drei Seile beschränkt, die in einem Knoten vereinigt sind. Es wirke nun an dem einen Seile in der Richtung ka (s. beist. Fig.) die Kraft, an dem anderen in der Richtung kb die Last Q, während das dritte Seil bei c befestigt und um diesen festen Punkt drehbar ist. Für den Fall des Gleichgewichts muß nun gewiß die Mittelkraft oder Resultirende der beiden Kräfte P und Q in die Richtung der Geraden ck fallen, oder diese Resultirende muß der Spannung des Seiles kc gleich, aber der Richtung nach entgegengesetzt sein. Denkt man sich nun von irgend einem Punkte dieses letzteren, etwa von c aus, senkrechte Linien auf km und kn gezogen, so hat man für das statische Gleichgewicht (s. d. Art. Statik) dieser Maschine die Proportion $P : Q = cm : cn$, oder $\frac{P}{Q} = \frac{cm}{cn}$.



Die Spannung S des Seiles kc ist aber gegeben durch die Gleichung $S = \sqrt{(P^2 + Q^2 + 2\,PQ\,.\cos akb)} = \sqrt{(P^2 + Q^2 - 2\,PQ\cos\varphi)}$, da $\llcorner\, akb = 180^0 - \varphi$ ist.

Die Richtung des Seiles kc ergiebt sich durch den Winkel $ckn\alpha$; es ist nämlich $\sin\alpha : \sin\varphi = Q : S$, also $\sin\alpha = \frac{Q\,.\sin\varphi}{S}$.

Wenn ein Seil bkc, das wir jetzt als ein ganzes betrachten wollen, durch einen Ring k gezogen ist, an welchem vermittelst eines anderen Seiles die Kraft P wirkt, so bildet sich an dem Seile bkc ein beweglicher Knoten. Es gelten nun hierbei im Wesentlichen dieselben Bestimmungen wie vorher; nur ist noch zu berücksichtigen, daß für den Fall des Gleichgewichtes die Spannungen der beiden an dem Ringe anliegenden Seilstücke gleich sind. Diese beiden Seilstücke machen nämlich mit der Richtung der an diesem Ring angebrachten Kraft gleiche Winkel und ihre Spannungen sind die nach ihren Richtungen wirkenden Seitenkräfte dieser Kraft. Doch folgt die Gleichheit jener Spannungen auch schon ganz einfach daraus, daß die beiden Seilstücke, auf welchen der Ring gleiten kann, nur ein Seil bilden, das in seiner ganzen Ausdehnung dieselbe Spannung erleiden muß.

Denkt man sich ferner ein etwas längeres Seil, das an verschiedenen Punkten von Kräften ergriffen ist, so bildet dieses Seil ein Vieleck, das man ein Seilpolygon nennt. Die an einem solchen Seilpolygon angebrachten Kräfte müssen von der Art sein, daß sie sich, wenn man sie alle, parallel mit sich selbst, nach demselben Punkte hinbringt, hier im Gleichgewichte halten.

Befestigt man ein gleichartiges, vollkommen biegsames und nicht ausdehnbares Seil, oder eine Kette, die aus kurzen Gliedern besteht, an den beiden Endpunkten, so sind alle Massentheilchen von der Schwere afficirt, und das Seil oder die Kette ist durch das eigene Gewicht gespannt. Die Axe des Seiles oder der Kette nimmt dann die Gestalt einer krummen Linie an, die man Kettenlinie nennt. Auch die in der Praxis vorkommenden, wenig ausdehnbaren und elastischen Ketten und Seile nehmen unter denselben Umständen annähernd die Gestalt der Kettenlinie an. Die Verticalspannung im Befestigungspunkte ist aber gleich dem Gewichte der Kette von diesem Punkte bis zum Scheitel.

Bei der Construction der Hängebrücken, wo die Kettenlinie in Betracht kommt, ist es natürlich von Bedeutung, sowohl die Spannung der aufgehängten Kette als auch die Last der Stütz- oder Befestigungspunkte zu ermitteln. Doch müssen wir in dieser Hinsicht auf die betreffenden Werke der Architectur und des Maschinenwesens verweisen *).

Selen, ein einfacher, zu den Nichtmetallen gehörender, dem Schwefel sehr nahe stehender Körper. Chem. Zeichen = Se. Aequivalent = 495,285 (O = 100) oder 39,686 (H = 1); nach Erdmann = 39,3. Das Selen wurde 1817 in dem Schlamme der Schwefelsäurefabrik zu Gripsholm, welche Fahluner Schwefelkiese verarbeitete, von Berzelius **) in Gemeinschaft mit Guhr entdeckt. Der durchdringende Rettiggeruch, welchen dieser Schlamm vor dem Löthrohr verbreitete und den Guhr schon früher oft in der Nähe der Rösthaufen zu Fahlun wahrgenommen hatte, ließ anfangs Tellur darin erwarten, da Klaproth diesen Geruch für ein charakteristisches Kennzeichen des Tellur erklärt hatte. Diesem Umstande, so wie mehreren anderen Analogien des neuen Stoffes mit dem Tellur verdankt er seinen Namen von σελήνη, der Mond, der eben die Aehnlichkeit seiner Eigenschaften mit dem Tellur anzeigen sollte.

Das Selen kommt nur in geringen Mengen, wenn auch an verschiedenen

*) Ueber Kettenbrücken vergl. unter anderen A. Burg, i. d. Jahrb. des Wiener polytechn. Institut. Bd. V. S. 288.

**) Schweigg. Journ. Bd. XXI. S. 45 u. 342.

Orten in der Natur vor. Bald nach seiner Entdeckung ließ man es sich sehr angelegen sein, diesen Körper überall aufzusuchen. So entdeckte Berzelius in einer verödeten Kupfergrube in Smaland ein Selenkupfersilber ($2\,CuSe + AgSe^2$), welches er das „zu gelegener Zeit Gefundene", Eukairit, nannte, und ein Selenkupfer ($CuSe$). Er zeigte ferner, daß nicht nur der Schwefel und die Schwefelkiese von Fahlun Selen enthielten, sondern noch andere dort vorkommende Erze, wie z. B. Bleiglanz. Häufiger zeigte sich das Selen in dem Bleiglanz, welcher die Kupfererze von Atwitaberg begleitet. Auch in einigen Tellurwismutherzen fand Berzelius Spuren von Selen. Auch die deutschen Chemiker bemühten sich angelegentlich, das Selen aufzufinden. Gmelin fand es zuerst in einem böhmischen Vitriolöl, aus welchem es sich durch bloße Verdünnung mit 2 Th. Wasser ziemlich rein ausschied; Buch und Wöhler fanden, daß das Selen in den zerstreuten Schwefelkiespunkten des Alaunschiefers vorkomme, aus welchem jenes Vitriolöl bereitet worden war. Noch lange Zeit fand man im Handel vielfach Schwefelsäure, aus der sich beim Verdünnen mit Wasser Selen ausschied. Dies deutet auf ein sehr verbreitetes Vorkommen in kiesigen Erzen hin. Pleischl fand Selen in dem Molybdänkies von Schlaggenwalde und in dem Schwefel von Oeblarn; Scholz in mehreren ungarischen Tellurerzen; Stromeyer in dem vulkanischen Salmiak der Liparischen Inseln und Brandes in dem der Insel Lanzerote. 1823 entdeckte du Ménil zuerst Selen in einem Harzer Fossil aus der Gegend von Clausthal (ein Selenkobalt haltiges Selenblei) und bald fand man, daß das Selen am Harz verhältnißmäßig in reichlichster Menge vorkomme, namentlich bei Tilkerode. Hier wurde es von Zinken und H. Rose entdeckt. Letzterer untersuchte 5 Mineralien: Selenblei, $PbSe^2$; Selenkobaltblei, $CoSe^4 + 6\,PbSe^2$; Selenbleikupfer mit 29,960 Selen; Selenkupferblei mit 34,26 Selen; Selenblei mit Selenquecksilber. Ferner fanden sich am Harz Selenquecksilber und Selenpalladium. Die Selenerze von Tilkerode wurden auf der Victor-Friedrichssilberhütte zu Harzgerode auf Selen verarbeitet; 1829 war der Preis pro Unze 4 Friedrichsd'or. Vier Jahre früher forderte Trommsdorff in Erfurt das Doppelte. Heute kostet die Drachme (ein Quentchen) noch 1 bis 2 Thlr.

Kersten entdeckte das Selen in der Kupferblüthe von Rheinbreitenbach und del Rio in einigen mexikanischen Mineralien (Selensilber in kleinen sechsseitigen Tafeln unter den Erzen von Tasco und Selenzink mit Schwefelquecksilber). Bald nach der Entdeckung fand sich das Selen in Böhmen in so reichlicher Menge, daß man von Prag aus Büsten und Bildnisse des großen schwedischen Chemikers, aus Selen gegossen, den zahlreichen Verehrern desselben zum Kauf anbieten konnte. Jetzt wird das Selen in ziemlicher Menge im Mansfeldischen aus dem Flugstaub dargestellt.

Die Abscheidung des Selen aus dem Schlamme der Schwefelsäurefabriken gehörte mit zu den umständlichsten und schwierigsten Aufgaben. Außer Schwefel und erdigen Theilen fand Berzelius darin noch sieben Metalle (Blei, Kupfer, Zinn, Zink, Eisen, Quecksilber, Arsenik). Im Harze wird bei der Gewinnung des Selen aus dem Selenblei der von Mitscherlich angegebene Weg befolgt. Um den damit vorkommenden kohlensauren Kalk zu entfernen, wird das gepulverte Mineral mit Salzsäure digerirt; nach dem Trocknen mengt man es mit dem gleichen Gewicht salpetersauren Natrons und trägt das Gemenge nach und nach in einen glühenden Tiegel. Dadurch wird das Blei in Bleioxyd, das Selen in Selensäure

verwandelt. Die geschmolzene Masse, welche selensaures, salpetersaures und salpetrigsaures Natron enthält, kocht man nach dem Erkalten in Wasser aus, filtrirt die Lösung ab, kocht dieselbe mit Salpetersäure, um die salpetrigsauren Salze zu zersetzen, rasch ein, wo sich Krystalle von wasserfreiem selensaurem Natron absetzen, gießt von diesen die Lauge ab, aus der salpetersaures Natron anschießt, und dampft die Mutterlauge weiter ein, wo wiederum salpetersaures Natron herauskrystallisirt. Das selensaure Natron enthält schwefelsaures Natron; man mengt es mit Salmiak und erhitzt. Die Selensäure wird hierbei durch das Ammoniak desoxydirt, denn $Se\,O^3$ und NH^3 geben 3 HO, Se und N. Beim Ausziehen mit Wasser bleibt das Selen zurück.

Man kann auch das gepulverte Mineral mit Salpetersäure behandeln, wodurch selenigsaures Bleioxyd entsteht. Nach dem Verdampfen der überschüssigen Salpetersäure digerirt man mit Schwefelsäure, wodurch die selenige Säure abgeschieden wird, indem sich die Schwefelsäure mit dem Bleioxyd verbindet. Heißes Wasser löst die selenige Säure auf; durch schwefligsaures Ammoniak fällt das Selen als rothes Pulver nieder, denn $Se\,O^2$ und $2\,SO^2$ geben Se und SO^3.

Nach Wöhler mengt man das mit Salzsäure behandelte Mineral mit dem gleichen Gewicht verkohltem Weinstein und läßt das Gemenge eine Stunde lang unter einer Decke von Kohlenpulver glühen. Die erkaltete Masse wird schnell gerieben, in einem Filter mit ausgekochtem siedendem Wasser ausgelaugt, wobei sie immer vom Wasser bedeckt ist. Die Lösung von Selenkalium stellt man in flachen Schalen an die Luft; der Sauerstoff oxydirt das Kalium, wodurch das Selen abgeschieden wird. Es setzt sich in Gestalt einer Rinde an der Oberfläche ab. Diese muß oft zerstört werden, um den Zutritt der Luft und somit die vollständige Zersetzung zu erleichtern.

Berzelius behandelte den Selenschlamm von Luckawitz in Böhmen mit erhitzter Kalilauge und setzte die filtrirte Lösung von Selen und Schwefelkalium bei 22° C. der Einwirkung der Luft aus. Aus dem selenhaltigen Schwefel kann das Selen auf gleiche Weise dargestellt werden. Magnus erhitzt den selenhaltigen Schwefel mit dem achtfachen Gewicht Braunstein in einer Retorte, wodurch sich Schwefelmangan, schweflige und selenige Säure bilden, welche letztere durch die schweflige Säure zersetzt wird, so daß Selen sublimirt.

Otto*) schied das Selen aus dem Schlamme der Schwefelsäurefabrik der Okerhütte bei Goslar auf folgende Weise ab. Das schwefelsaure Kupferoxyd und Eisenoxydul wurden durch Wasser entfernt. Dann wurde der Schlamm mit Salpetersäure digerirt und mit Schwefelsäure eingedampft. Der Rückstand wurde mit Wasser ausgezogen und dann der Lösung schwefligsaures Ammoniak zugesetzt. Zuerst fiel etwas Selen mit Quecksilber nieder. Nach dem Abfiltriren dieses Niederschlages schied sich das Selen bei weiterem Zusatz von Schwefelsäure und schwefligsaurem Ammoniak aus. Der zuerst abfiltrirte Niederschlag wurde mit einem Gemenge von salpetersaurem Kali und kohlensaurem Natron geschmolzen, die geschmolzene Masse mit Salzsäure eingedampft, dann mit Wasser ausgelaugt und die Lösung mit schwefligsaurem Ammoniak behandelt. Wöhler schmilzt den Schlamm sogleich mit Salpeter und Potasche. Die Lösung wird mit Salzsäure

*) Lehrbuch der Chemie. 2. Aufl. Bd. II. S. 341.

eingedampft, um die Selensäure in selenige Säure zu verwandeln; dann leitet er schweflige Säure hindurch und erhitzt zum Sieden, wobei sich das Selen ausscheidet. — Das aus der Schwefelsäure durch Wasser ausgeschiedene Selen enthält nach Juch Gyps. In 8 Jahren erhielt er aus circa 20 Ctr. Schwefelsäure $3^1/_2$ Loth reines Selen. Um das Selen rein zu erhalten, pflegt man das nach den verschiedenen Methoden erhaltene noch zu destilliren.

Das Selen kann, wie der Schwefel, in allen drei Aggregatzuständen vorkommen. Bei gewöhnlicher Temperatur ist es fest, bei wenig über 100° C. wieder flüssig und bei 700° gasförmig. Der Dampf ist heller als der Schwefeldampf, aber dunkler als Chlorgas; in weiten Gefäßen verdichtet er sich zu einem rothen Pulver, in engen zu metallglänzenden Tropfen. Das Selen geht nicht plötzlich aus dem flüssigen Zustand in den festen über; beim Abkühlen bleibt es lange weich. Es läßt sich dann zu Fäden ausziehen, die bei auffallendem Lichte grau und metallglänzend, beim durchgehenden aber durchscheinend und schön roth sind. Dies ist auch die Farbe des fein zertheilten Selen, wie man es durch schweflige Säure aus den Auflösungen erhält. Beim Trocknen nimmt der Niederschlag eine mehr dunkle Farbe an, eben so beim Erhitzen in der Flüssigkeit. Das rothe Selen, trocken erhitzt, schmilzt zu einer dunkelbleigrauen Masse, die einen Metallglanz zeigt. Der Bruch ist körnig und uneben, wenn es langsam erkaltet, aber glasig und muschlig, wenn es rasch erkaltet. Nach Marx *) aber ist das Selen völlig undurchsichtig; selbst die dünnsten und feinsten Fäden und Blättchen ließen noch nicht eine Spur von Licht durch sich hindurchgehen. Die Lichtreflexion auf der Oberfläche ist dagegen sehr stark. Unter einem bestimmten Winkel wird das Licht vollständig polarisirt. Bei der vollständigen Polarisation des auf das Selen fallenden Lichtes durch das analysirende Doppelspathprisma erscheint das verschwindende Bild schön dunkel und stahlblau, während das andere noch sichtbare in reinem Spiegelglanze strahlt.

Das Selen kommt, wie der Schwefel, in verschiedenen allotropischen Zuständen vor. Nach Hittorf **) geht das körnige Selen erst bei 217° aus dem festen in den flüssigen Zustand über. Beim Abkühlen bleibt die Masse lange Zeit flüssig; während das Thermometer ganz regelmäßig sinkt und bei keiner Temperatur ein Stillstand eintritt, durchläuft die Masse alle Grade der Weichheit, bis sie unter 50° als amorphes Selen erhärtet. Das amorphe Selen hielt sich Jahre lang unverändert; der Uebergang in den krystallinischen Zustand tritt jedoch ein, wenn man das amorphe Selen einige Zeit zwischen 80 und 217° erwärmt. Am besten gelingt diese Umwandlung zwischen 125 und 180°. Das amorphe Selen ist ein Isolator; durch Reiben wird es elektrisch, wenn die Oberfläche rein ist. Das körnige Selen leitet weit besser, doch nimmt sein Leitungswiderstand beim Erwärmen merkwürdiger Weise ab.

Nach Schaffgotsch ***) hat das Selen auch zwei verschiedene spec. Gew. Bei 20° ist das eine = 4,282 und gehört dem amorphen, glasigen Selen an; das andere ist = 4,801 und kommt dem krystallinischen zu. Die durch schweflige Säure erhaltenen blutrothen Flocken haben das spec. Gew. des amorphen Selen,

*) Schweigg. Journ. Bd. LXI. S. 15.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 214.
***) Ebend. Bd. XC. S. 66.

mag der Niederschlag in der Wärme sein Volumen vermindert haben oder nicht. — Das Selen brennt mit bläulicher Flamme, wobei es einen durchdringenden Geruch nach faulenden Rettigen verbreitet.

Einerseits zeigt das Selen große Aehnlichkeit mit den Metallen; es wird aus der Lösung der selenigen Säure von vielen Metallen (Zink, Eisen, Kupfer) abgeschieden und durch Schwefelwasserstoff als Schwefelselen gefällt. Deshalb stellte es auch Berzelius unter die Metalle. Später aber traten die Analogien des Selen mit dem Schwefel immer mehr hervor, so daß man es heute allgemein zu den nichtmetallinischen Elementen zählt.

Durch Salpetersäure und Königswasser wird das Selen nur zur selenigen Säure oxydirt; durch Schmelzen mit Salpeter aber zu Selensäure. In Salzsäure und verdünnter Schwefelsäure ist das Selen nicht löslich, wohl aber in concentrirter Schwefelsäure, die dann eine schöne grüne Farbe annimmt. Von Kalilauge wird das Selen wie der Schwefel aufgelöst; es entsteht Selenkalium, das durch die Luft zersetzt wird, und selenigsaures Kali. Die Eigenschaften des Selen und seiner Verbindungen sind besonders von Berzelius studirt *).

Mit dem Sauerstoff kennt man zwei Verbindungen: die selenige ($Se O^2$) und die Selensäure ($Se O^3$), welche der schwefligen (SO^2) und der Schwefelsäure (SO^3) entsprechen. Ob noch eine dritte Verbindung, das Selenoxyd, existirt, ist zweifelhaft. Man schließt dies aus dem bekannten Geruch, der sich beim Erhitzen des Selen an der Luft entwickelt; doch ist diese Verbindung bis jetzt noch nicht dargestellt.

Die selenige Säure ($Se O^2$) wurde von Berzelius entdeckt und führte zuerst den Namen Selensäure. Man erhält sie als ein weißes Sublimat in langen vierseitigen Nadeln, wenn man Selen im Sauerstoffstrom verbrennt. Behandelt man Selen mit Salpetersäure oder Königswasser, so schießt ein Hydrat der selenigen Säure in großen säulenförmigen Krystallen an, die große Aehnlichkeit mit dem Salpeter haben. Erhitzt man diese Krystalle, so geht das Wasser fort und die wasserfreie Säure sublimirt in großen Nadeln. Die Dämpfe der selenigen Säure haben eine schwach gelblich-grüne Farbe und riechen sauer. Die sublimirte wasserfreie Säure zieht leicht Feuchtigkeit an. Die selenige Säure ist sehr leicht in Wasser und Alkohol löslich. Der Sauerstoff ist hier nur sehr lose gebunden; wir haben gesehen, daß das Selen leicht daraus abgeschieden werden kann. Sonst ist die selenige Säure eine starke Säure; sie treibt die Salpetersäure und Salzsäure aus ihren Verbindungen aus, wird aber wieder durch die weniger flüchtigen Säuren ausgetrieben. Berzelius hat eine große Reihe von Salzen dargestellt. Die neutralen Alkalisalze reagiren alkalisch; es existiren auch saure Salze. Nur die Alkalisalze sind leicht löslich im Wasser, die neutralen Salze der übrigen Basen sind entweder schwer löslich oder unlöslich; sie werden jedoch durch Salpetersäure aufgelöst; einige aber sehr schwer.

Die Selensäure ($Se O^3$) wurde 1827 von Mitscherlich entdeckt. Man erhält sie durch Schmelzen von Selen mit Salpeter. Die Lösung des selensauren Kali wird durch salpetersaures Bleioxyd und der Niederschlag von selensaurem Bleioxyd durch Schwefelwasserstoff zerlegt. Hat man Selenblei mit Salpeter geschmolzen, so erhält man neben dem selensauren auch schwefelsaures Kali. Man

*) Schweigg. Journ. Bd. XXIII. S. 309 u. 430.

muß das selensaure Kali in selenigsaures verwandeln. Nun läßt sich die Schwefelsäure durch Baryt entfernen. Hat man den überschüssigen Baryt durch kohlensaures Alkali gefällt, so verwandelt man das selenigsaure Kali durch Schmelzen mit Salpeter in selensaures.

Im wasserfreien Zustande kann die Selensäure nicht dargestellt werden; doch kann man die Lösung so weit eindampfen, daß der Siedepunkt bis auf 180° C. steigt. Dampft man weiter ein, so entwickelt sich Sauerstoff und die Säure wird zu seleniger Säure desoxydirt. Bei der angegebenen Concentration ist das spec. Gew. = 2,60. Die Säure enthält mehr als 1 Aeq. Wasser. Sie ist eine ölige, farblose, sehr saure Flüssigkeit, die viele Aehnlichkeit mit der Schwefelsäure hat. Sie zischt, wie diese, wenn man sie mit Wasser verdünnt, auch zieht sie das letztere sehr begierig an. Die concentrirte Säure löst Kupfer und Gold auf, wobei sie zum Theil in selenige Säure verwandelt wird; die verdünnte Eisen und Zink unter Wasserstoffentwickelung. Mit Salzsäure entwickelt sie Chlor und wird in selenige Säure verwandelt; schweflige Säure indessen übt auf sie keinen Einfluß aus.

Die selensauren Salze sind mit den schwefelsauren isomorph und diesen überhaupt so ähnlich, daß man sie auf den ersten Blick nicht unterscheiden kann. Beide unterscheiden sich jedoch sehr leicht, indem die selenigsauren Salze auf einer glühenden Kohle verpuffen, mit Salzsäure Chlor entwickeln und beim Erhitzen mit Salmiak in der Art zerlegt werden, daß sich Selen abscheidet.

Auch mit dem Wasserstoff bildet das Selen eine dem Schwefelwasserstoff analoge Verbindung: Selenwasserstoff, HSe. Er entwickelt sich beim Uebergießen von Seleneisen, das ähnlich dem Schwefeleisen dargestellt wird, mit Salzsäure. Er ist ein farbloses, in Wasser auflösliches Gas; der Geruch gleicht dem des Schwefelwasserstoffs. Beim Einathmen wirkt der Selenwasserstoff doch weit energischer; er ist eins der tödtlichsten Gifte. Alle Metalle, die aus der neutralen Lösung durch Schwefelwasserstoff gefällt werden, werden auch durch Selenwasserstoff niedergeschlagen. Die Selenmetalle sind meistens schwarz oder dunkelbraun; nur die Verbindungen mit Zink, Mangan und Cer sind fleischfarben. Die Auflösung des Selenwasserstoffes in Wasser wird leicht an der Luft zersetzt; Selen scheidet sich aus. Nach Corenwinder *) wird Selenwasserstoff direct gebildet, wenn man Selendampf und Wasserstoffgas über bis auf 400° erhitzte Bimsteinstücke leitet.

Ein Selenkohlenstoff ist nicht dargestellt; wohl aber zwei Verbindungen mit Chlor: ein flüssiges Selenchlorür und ein festes Selenchlorid.

Mit dem Schwefel läßt sich das Selen in jedem Verhältniß zusammenschmelzen; der Schwefel nimmt dadurch eine rothgelbe Farbe an. Durch Fällen der selenigen Säure durch Schwefelwasserstoff erhält man einen gelben Niederschlag, der sehr leicht schmilzt und dann eine feuerrothe Farbe annimmt. Die Formel ist = $Se\,S^2$. — Auch durch Zusammenschmelzen des Selen mit Metallen erhält man Selenmetalle, die große Aehnlichkeit mit den Schwefelmetallen besitzen. Sie sind jedoch noch nicht hinreichend untersucht.

Mit dem Cyan geht das Selen gleichfalls Verbindungen ein. Schon Ber-

*) Annal. de chim. et de phys. [3] T. XXXIV. p. 77. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LV. S. 300.

zelius hatte das Kaliumsalz dargestellt. In neuerer Zeit hat jedoch Crookes*) mehrere Selencyanide untersucht.

Man erkennt die Gegenwart des Selens sehr leicht, auch in den Salzen, an dem durchdringenden Geruch nach faulendem Rettig, der sich beim Erhitzen vor dem Löthrohr verbreitet. Die Kohle beschlägt sich gewöhnlich mit einem stahlgrauen, schwach metallisch glänzenden Anfluge, der flüchtig ist. Die selenigsauren Salze erkennt man sehr leicht durch ihr Verhalten gegen Schwefelwasserstoff und gegen schweflige Säure; eben so die selensauren Salze, nachdem man sie mit Chlorwasserstoffsäure behandelt, also in selenigsaure Salze verwandelt hat. W. B.

Senkblei, s. Bathometer.

Senkwage, s. Aërometer.

Sextant, Hadley's, s. Spiegel-Sextant.

Sicherheitslampe. Die leichte Entzündlichkeit des sich in den Steinkohlenbergwerken reichlich entwickelnden leichten Kohlenwasserstoffgases und die dadurch bewirkten furchtbaren und zerstörenden Explosionen machten es dringend nothwendig, eine gefahrlose Beleuchtung für diese Orte aufzufinden. Man suchte sich dadurch zu helfen, daß man ein stählernes Rad gegen einen Feuerstein schlagen ließ. Diese Art der Beleuchtung war jedoch sehr ungenügend und dabei schützte sie nicht durchaus vor Unglücksfällen. Durch eine Reihe langer und mühseliger Untersuchungen über die Eigenschaften der schlagenden Wetter und über die Natur und Mittheilung der Flamme gelangte endlich Davy dahin, seine Sicherheitslampe zu construiren**), die der Menschheit einen großen Dienst geleistet hat. Den Gedanken zu dieser Construction gab die von Davy beobachtete Thatsache, daß ein Gemenge von Grubengas und Luft weniger leicht entzündlich sei als Kohlenoxydgas. Durch eine rothglühende Kohle oder rothglühendes Eisen trat keine Entzündung ein, sondern erst durch eine weißglühende Flamme. Dadurch gerieth Davy auf den Gedanken, die gefahrbringende Entzündung der schlagenden Wetter durch Abkühlung der Flamme zu verhindern. Weitere Untersuchungen ergaben, daß in der That die Explosion brennbarer Gasarten sich durch lange und enge Röhren nicht fortpflanzte. Und dies Sicherungsprincip behält auch seine volle Gültigkeit, wenn man die Länge und den Durchmesser der Röhren nach einerlei Verhältniß verkleinert, dagegen aber die Menge derselben in gleichem Verhältniß vermehrt, so daß eine große Menge kleiner Oeffnungen, deren Tiefen ihren Durchmessern gleich sind, die Explosionen nicht durch sich hindurchlassen.

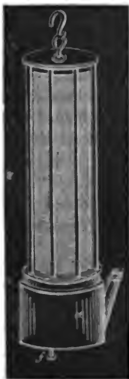
Die Davy'sche Sicherheitslampe wird durch die umstehenden Fig. I. und II. veranschaulicht. Eine gewöhnliche Oellampe ist mit einem cylindrischen Drahtnetz umgeben, das auf jedem Quadratzoll 750 — 900 Oeffnungen hat. Man nimmt gewöhnlich Messing- oder Eisendraht. Letzterer wird durch den Ruß, der sich bald darauf absetzt, gegen die Einwirkung der Luft (Rosten) geschützt. f ist ein gebogener Draht, durch welchen der Docht geputzt werden kann, ohne daß der schützende Drahtcylinder entfernt wird.

Die erste Anzeige von der Gegenwart schlagender Wetter giebt die Ver-

*) Quart. Journ. Chemic. Soc. Vol. IV. p. 12. Annal. der Chem. u. Pharm. Bd. LXXIII. S. 177.

**) Gilbert's Ann. Bd. LVI. S. 116.

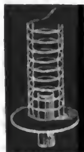
I. II.





längerung der Flamme in der Sicherheitslampe. Steigt der Gehalt des Kohlenwasserstoffgases bis auf $^1/_{12}$ des Raumes der Luft, so erfüllt sich der ganze Drahtcylinder mit einer schwachen blauen Flamme, innerhalb welcher man die Flamme des Dochtes hell und glänzend fortbrennen sieht. Nehmen die schlagenden Wetter $^1/_6$ oder $^1/_5$ des Raumes der Luft ein, so verliert sich die Flamme des Dochtes in der Flamme der schlagenden Wetter, welche nun den Cylinder mit sehr starkem Licht erfüllt. Ist die Luft mit $^1/_3$ der schlagenden Wetter erfüllt, so entsteht innerhalb der Lampe eine so heftige Explosion, daß die Flamme erlischt; nach außen aber pflanzt sie sich nicht fort. Nun ist die Luft auch nicht mehr zum Athmen tauglich und der Bergmann muß seine Arbeit einstellen. Um für den Fall dieses Rückzuges dem Bergmann hinreichend Licht zu verschaffen, umgab Davy die Flamme mit einem spiralförmig gewundenen Platindraht (s. beistehende Fig. III.) von 0,3mm Dicke. Einmal erhitzt, glüht der Platindraht in dieser Atmosphäre fort, selbst nach dem Erlöschen der Lampe.

III.



Die Veränderungen der Flamme dienen gleichsam als Maaß für die Beschaffenheit der Luft. Die Lampe schützt nicht allein vor Explosionen, sondern sie verringert auch die Möglichkeit derselben dadurch, daß sie das brennbare Gas schnell verzehrt und sehr bald ein Gemenge herstellt, das nicht mehr gefährlich ist. So konnte es nicht ausbleiben, daß diese Lampe die Proben, denen sie in den gefahrvollsten Kohlenbergwerken Englands (Newcastle und Whitehaven) unterworfen wurde, ehrenvoll bestand; sie fielen selbst zur vollkommenen Zufriedenheit der anfangs sehr staunenden Bergleute aus. Nachdem die Lampe 2 Jahre hindurch mit dem unzweideutigsten Erfolge in den englischen Kohlenbergwerken in Gebrauch gewesen war, belohnten die Eigenthümer der Steinkohlenbergwerke am Tyne- und Wearflusse den Erfinder durch ein silbernes Tafelgeräth von 2000 Pfd. St. an Werth. Leider aber haben die Unglücksfälle seit jener Zeit doch nicht aufgehört; die Schuld daran trägt aber nicht die Lampe, sondern der Leichtsinn und der Unverstand der Menschen.

Im Laufe der Zeit hat die erste Einrichtung wesentliche Verbesserungen erfahren. Ohne auf das Heer von Verbesserungsvorschlägen einzugehen, wollen wir nur die wichtigsten anführen. Um den Lichtverlust zu verringern, hat man die Flamme mit einem sehr dicken Cylinder oder einer Kugel von Glas umgeben, auf welcher ein doppelter Drahtcylinder befestigt ist. Das äußere Netz schützt das innere vor Beschmutzung durch Kohlenstaub, während umgekehrt das innere Netz eine zu starke Erhitzung des äußeren verhindert.

Diese Lampe macht außerdem den Verkehr an Orten gefahrlos, wo leicht ent-

zündliche Sachen aufbewahrt werden; so z. B. in Pulverfabriken, Spiritusniederlagen ꝛc. W. B.

Sideroskop (von σίδηρος, Eisen, und σκοπέω, sehen), ein von Baillif*) angegebenes Instrument, welches zur Auffindung höchst schwacher magnetischer Einwirkungen, und daher auch der Gegenwart von Eisen dienen soll. Der Haupttheil desselben ist ein Strohhalm von 15 — 16 Pariser Zoll. Das Stroh muß reif sein; um es aber frei von Krümmungen zu machen, zwängt man die Enden des Halmes in ein paar kleine Schraubstöcke, beschwert den untern Schraubstock mit einem etwas starken Gewichte, befeuchtet dann das Stroh und führt längs desselben ein heißes Eisen hin. Der Strohhalm ist in ähnlicher Weise, wie der Wagbalken der Coulomb'schen Drehwage, an einem feinen Faden (Coconfaden) befestigt, und an jedem Ende des Halmes ist ein bis zur Sättigung magnetisirter, kleiner Stahlcylinder von etwa $1/2$ Linie Durchmesser und 18 Lin. Länge eingeschoben, und zwar so, daß die gleichnamigen Pole beider Cylinder nach entgegengesetzten Richtungen gekehrt sind. Der Strohhalm schwebt in einem parallelopipedischen, mit einer Schiebthüre versehenen Glasgehäuse, während der Aufhängungsfaden in einer auf diesem Gehäuse aufgesetzten Glasröhre herabgeht. Die Röhre ist oben mit einem Pfropf verschlossen, und durch diesen geht ein Glasstäbchen, welches mit sanfter Reibung verschoben werden kann und an dessen unterem Ende der Faden befestigt ist. Der Halm ist so leicht beweglich, daß nach Gay-Lussac schon die Wärme der ziemlich entfernt gehaltenen Hand durch die im Innern des Glaskastens von der veränderten Temperatur erregten Luftströme eine Ablenkung des Halmes bewirkt. Daher ist beim Gebrauche dieses Apparates Vorsicht nöthig. Da die kleinen magnetischen Cylinder eine entgegengesetzte Richtung ihrer Pole haben, so wird, im Fall sie gleich stark magnetisirt sind, die Erde keine richtende Kraft auf den Strohhalm äußern können, und deshalb wird derselbe jeder Anziehung und Abstoßung aufs leichteste Folge leisten können, um so mehr, da die Cylinder sich an langen Hebelarmen befinden. Obgleich es kaum thunlich ist, beiden Cylindern einen völlig gleichen Magnetismus zu ertheilen, so hat man es doch in seiner Gewalt, die richtende Kraft des Erdmagnetismus auf beide dadurch zu compensiren, daß man die schwächere Nadel an einem längeren Hebelarme wirken läßt, oder besser dadurch, daß man auf der einen Seite in einer angemessenen Entfernung vom Drehpunkte des Strohhalmes eine dritte Magnetnadel von hinreichender Stärke anbringt. Auf diese Weise läßt sich die Wirkung der schwächeren Nadel leicht ausgleichen. Indessen hat man mit Recht bemerkt, daß ein solches Sideroskop sehr wohl durch Nobili's astatische Doppelnadel (s. Bd. I. S. 368 ff.) ersetzt werden könne.

Sieden (kochen). Was man unter diesem Namen versteht, ist bereits im Art. Dampf (Bd. II. S. 22) erörtert worden. Ueber die Vorgänge beim Sieden kann man sich am besten unterrichten, wenn man Wasser, in welches man einige Sägespäne gestreut hat, in einem Probirgläschen über der Weingeistlampe erhitzt. Sehr bald wird man beobachten, wie an der einen Seite die Sägespäne in die Höhe steigen und an der anderen herabsinken; aus dieser Wanderung kann man

---

*) Edinb. Journ. of Science N. XIII. p. 184. Ferussac, Bullet. de Sciences math. et phys. 1827. N. VII. p. 87. Vergl. auch Saigey in Ferussac Bullet. 1828. N. II. p. 89. und Wiener Zeitschrift Th. IV. S. 492.

folgern, daß das warme Wasser an der einen Seite in die Höhe steigt und das kalte an der anderen herabsinkt, um gleichfalls erwärmt zu werden. Das Wasser ist nämlich ein sehr schlechter Wärmeleiter; die Wärme theilt sich hier nicht unmittelbar von einem Wassertheilchen dem anderen mit und deshalb müssen wir auch die Wärmequelle stets von unten wirken lassen, falls wir eine Wassermasse erwärmen wollen. Lassen wir die Wärme von der Seite wirken, so wird nur die Wasserschicht ins Kochen gerathen, die über der Wärmequelle liegt, während die untere Schicht durchaus kalt bleibt. Einige andere Eigenthümlichkeiten, die beim Sieden auftreten, wie z. B. das Singen und Stoßen, sind gleichfalls bereits im Art. Dampf, Bd. II. S. 39 u. 40 erörtert worden.

Die Temperatur, bei der eine Flüssigkeit siedet, heißt der Siedepunkt; er hängt ab von dem Druck, der auf der Flüssigkeit lastet, und von der Natur der letzteren. Je geringer der Druck ist, um so niedriger ist auch der Siedepunkt. Die Schnelligkeit des Kochens oder Siedens hängt jedoch von der Wärmemenge ab, die in einer bestimmten Zeit der Flüssigkeit zugeführt wird.

Da nun der Luftdruck an allen Punkten der Erde nicht derselbe ist, sondern von dem Spiegel des Meeres nach der Höhe hin abnimmt, so folgt daraus, daß das kochende Wasser nicht überall auf der Erde eine gleiche Temperatur besitzt. Während das reine Wasser am Spiegel des Meeres und unter dem mittleren Drucke von 760^{mm} bei 100° kocht, beträgt die Temperatur des kochenden Wassers auf dem Gipfel des Montblanc, in einer Höhe von 15,214 Fuß und bei einem Barometerstande von 417^{mm} ungefähr 84°. In noch größerer Höhe würde das Wasser bei einer noch niedrigeren Temperatur sieden. Diese Verschiedenheiten in dem Siedepunkte des Wassers sind an hoch gelegenen Gebirgsorten durch directe Versuche bestimmt worden. In nachstehender Tabelle stellen wir die Siedepunkte des Wassers für mehrere bewohnte Orte, deren Höhe genau bekannt ist, zusammen.

Namen der Orte	Höhe über der Meeresfläche in preuß. Fuß	Mittlere Höhe des Barometers in Millim.	Siedepunkt
Meierei Antisana (Südamerika)	13,066	454	86,3°
Mincipampa (Peru)	11,528	483	87,9°
Quito	9265	527	90,1°
Laxomaria (Peru)	9112	531	90,3°
Santa Fe de Bogola . . .	8478	544	90,9°
Cuanga (Quito)	8389	546	91,0°
Mexico	7233	572	92,3°
Hospiz St. Gotthard . . .	6611	586	92,9°
Dorf St. Veran (Seealpen) . .	6500	588	93°
St. Remi	5111	621	94,5°
Dorf Gavarni (Pyrenäen) . .	4601	634	95°
Bareges (Pyrenäen). . . .	4043	648	95,6°
Palast St. Ildefonso (Spanien)	3680	657	96°
Bäder des Mont d'Or (Auvergne)	3314	667	96,5°
Madrid	1937	704	97,8°

Namen der Orte	Höhe über der Meeresfläche in preuß. Fuß	Mittlere Höhe des Barometers in Millim.	Siedepunkt
Inspruck	1803	708	98⁰
München	1714	710	98,1⁰
Salzburg	1440	718	98,4⁰
Genf und Freiburg	1185	725	98,6⁰
Regensburg	1153	726	98,7⁰
Moskau	956	732	99,0⁰
Turin.	733	738	99,1⁰
Prag	570	743	99,3⁰
Lyon	516	745	99,4⁰
Wien	424	747	99,5⁰
Bologna	386	749	99,5⁰
Dresden	287	752	99,6⁰
Paris (Observatorium, 1. Stock)	207	754	99,7⁰
Rom (Kapitol)	147	756	99,8⁰
Berlin	127	756	99,8⁰

Da der Barometerstand an jedem Orte fortwährend schwankt, so folgt daraus, daß auch der Siedepunkt des Wassers ein veränderlicher ist. Zu Paris sind die äußersten Grenzen des Barometerstandes, die man seit 20 Jahren beobachtet hat, 719^{mm} und 781^{mm} und diesen entsprechen die Siedepunkte 98,5⁰ und 100,8⁰.

Aus der Siedehitze des Wassers kann man die Höhe des Ortes berechnen, da erstere von dem Luftdruck abhängt und dieser wieder von der Höhe des Ortes über der Meeresfläche. So hat z. B. Savart zu diesem Zwecke ein sehr empfindliches Thermometer construirt, das $^1/_{1000}$ eines Grades anzeigt; auch Wollaston hat ein ähnliches sehr empfindliches Thermometer anfertigen lassen, mit Hülfe dessen man nachweisen kann, daß die Temperatur des kochenden Wassers selbst in den verschiedenen Stockwerken eines Hauses eine verschiedene ist. (Vergl. d. Art. Höhenmessung, thermometrische, Bd. III. S. 826.)

Vermindert man den Luftdruck, so kann das Wasser, so wie jede andere Flüssigkeit bei jeder beliebigen Temperatur ins Kochen gebracht werden. Bringen wir z. B. eine Schale mit Wasser unter den Recipienten der Luftpumpe und entfernen wir die Luft theilweise, so siedet das Wasser bei 30,11 oder 0⁰, je nachdem der Druck 30,10 oder 5^{mm} beträgt, eben so lebhaft, als wenn es an freier Luft über einem lebhaften Feuer stände. Indessen hört die wallende Bewegung bald auf, da der Wasserdampf nicht entweichen kann und selbst auf die Flüssigkeit drückt; sobald man aber den Wasserdampf durch einen Kolbenzug entfernt, fängt das Wasser wiederum an zu kochen. Oder man stellt unter die Glocke der Luftpumpe gleichzeitig ein Gefäß mit concentrirter Schwefelsäure, die für die Entfernung der Wasserdämpfe sorgt. Auch auf andere Art kann man die Abhängigkeit des Siedepunktes von dem Luftdruck darthun. Man füllt einen Ballon mit langem Halse zur Hälfte mit Wasser und bringt dasselbe zum Kochen. Nach einiger Zeit, wenn durch das Kochen alle Luft ausgetrieben ist, entfernt man den Kolben

vom Feuer, verschließt den Hals mit einem Korke und kehrt den Ballon um. Das Wasser siedet natürlich nicht mehr, sobald man aber den oberen Theil abkühlt und dadurch den Dampf verdichtet, also den auf der Flüssigkeit ruhenden Druck vermindert, wallt das Wasser wiederum heftig auf. Aehnlich verhält es sich auch mit dem sogenannten Wasserhammer und dem Pulshammer, bei denen man das darin eingeschlossene Wasser schon durch die Wärme der Hand ins Kochen bringt. — Die Industrie hat sich bereits den Umstand, daß eine Flüssigkeit unter einem niederen Drucke auch bei einer niederen Temperatur siedet, zu Nutze gemacht. Namentlich erleiden Zuckerlösungen bei der gewöhnlichen Siedetemperatur sehr nachtheilige Veränderungen. Deshalb hat man bei der Runkelrübenzuckerfabrikation eigene Apparate, die sogenannten Vacuumpfannen, in Anwendung gebracht, in welchen die Zuckerlösungen bei einer möglichst niedrigen Temperatur verdampft werden. Es sind dies verschlossene Apparate, die gleichzeitig mit einer Vorrichtung versehen sind, durch welche die Luft verdünnt, also der auf der Flüssigkeit ruhende Druck vermindert, und die sich entwickelnden Dämpfe beständig fortgeschafft werden. Der Chemiker kommt gleichfalls sehr oft in den Fall, eine Flüssigkeit zu concentriren, die sich beim Verdampfen unter den gewöhnlichen Umständen zersetzt. Hier kommt allgemein die Luftpumpe in Anwendung.

Vermehrt man den Druck, der auf der Flüssigkeit ruht, so kann man das Sieden verzögern oder auch ganz verhindern, wenn der Druck stark genug ist. Näheres hierüber findet man im Art. Digestor, Bd. II. S. 523. Besonders für sehr hochgelegene Orte kann dieser Apparat in der Küche wesentliche Dienste leisten. Schon die niedere Temperatur, bei der das Wasser kocht, kann bewirken, daß gewisse Speisen entweder gar nicht oder nur nach längerer Zeit gar werden. Ueberdies ist hier, obgleich das Wasser bei einer niederen Temperatur kocht, das Sieden doch schwieriger zu erlangen, da, je höher man aufsteigt, die Luft auch dünner wird, also in einem bestimmten Raume dem Gewicht nach weniger Sauerstoff enthält. Man muß also auf der Höhe dem Feuer eine ungleich größere Luftmasse zuführen, als in der Ebene, wenn es mit gleicher Lebhaftigkeit brennen soll; dazu kommt ferner, daß das Holz in jenen Gegenden selten ist und mit großer Mühe weit hergeschafft werden muß. So fand sich z. B. der Vater Bisel, Prior des Hospizes auf dem großen Bernhard, das durch die menschenfreundliche Pflege verunglückter Reisender und durch den Edelmuth der Geistlichen bei ihren gefährlichen Hülfeleistungen überall bekannt ist, veranlaßt, in einem Berichte an die Versammlung der schweizerischen Naturforscher in St. Gallen (1819) über die besprochenen Mißstände der Küche Klage zu führen und um Abhülfe derselben zu bitten. In Folge dessen empfahl der Prof. Pleischl in Prag die Anwendung des Papin'schen Topfes.

Während Substanzen, die nur mechanisch suspendirt sind, den Siedepunkt der Flüssigkeiten nicht erhöhen, tritt dies sofort ein, wenn sich fremde Substanzen chemisch mit der Flüssigkeit verbinden. So z. B. erhöhen alle löslichen Salze den Siedepunkt des Wassers. (Vergl. d. Art. Dampf, Bd. II. S. 29.) — Eine Zusammenstellung der Siedepunkte von einer großen Anzahl Flüssigkeiten findet man gleichfalls in dem Art. Dampf (Bd. II. S. 184).

Daß in den organischen Verbindungen zwischen der chemischen Zusammensetzung und dem Siedepunkte eine Gesetzmäßigkeit stattfindet, hat Kopp zuerst

gefolgert *), indem er bei einer Vergleichung einer größeren Anzahl von Siedepunktsbeobachtungen fand, daß bei analogen Substanzen einer gleichen Differenz in der Zusammensetzung in der Regel eine gleiche Differenz in den Siedepunkten entspreche. Diese Auffassung wurde von Schröder **) bestritten, so daß sich Kopp veranlaßt sah, weitere Beweise beizubringen. Bevor noch Gerhardt den Begriff der Reihen homologer Körper aufstellte, that Kopp dar ***), daß ganze Reihen von analogen Substanzen, deren Formeln um C^2H^2 oder ein Vielfaches davon verschieden sind, Siedepunkte zeigen, welche unter sich mindestens nahezu um 19° oder ein Vielfaches davon differiren, so daß bei diesen analogen Substanzen der Zusammensetzungsdifferenz $X\,C^2H^2$ die Siedepunktsdifferenz $X \,.\, 19^0$ entspricht. Kopp suchte ferner zu zeigen, daß diese Siedepunktsdifferenzen $X\,C^2H^2$ statthaben bei den verschiedensten Reihen, bei den Alkoholen, bei den von diesen sich ableitenden Säuren, bei den aus beiden gebildeten Aetherarten und bei der Reihe ätherartiger Verbindungen der Oxalsäure, Bernsteinsäure und Korksäure. Weiter legte er dar, daß auch bei Vergleichung correspondirender Glieder aus verschiedenen Reihen (der Säuren z. B. mit ihren Aethyl- und Methylätherarten oder der Alkohole mit den correspondirenden Säuren) sich für die gleiche Zusammensetzungsdifferenz oft nahezu dieselbe Siedepunktsdifferenz ergiebt.

Fast zu gleicher Zeit überzeugte sich auch Schröder ****) davon, daß Kopp's Angaben in der That gegründet seien, aber dennoch glaubte jener, daß der bei analogen Körpern am häufigsten vorkommenden Zusammensetzungsdifferenz $C^2\,H^2$ in den verschiedenen Reihen eine verschieden große Siedepunktsdifferenz entsprechen könne. Er wollte gefunden haben, daß die Siedepunktsdifferenz sich z. B. bei Betrachtung der Säuren $C^n\,H^n\,O^4$ anders ergebe, als bei der Betrachtung der Alkohole $C^n\,H^{n+2}\,O^2$ und im Zusammenhang damit seien auch die Siedepunkte isomerer Aetherarten $C^n\,H^n\,O^4$ verschieden. Schröder behauptete ferner, daß der Siedepunkt zur Beurtheilung der rationellen Constitution der organischen Verbindungen dienen könne und allgemein als das wesentlichste Kennzeichen zur Ermittelung der näheren Bestandtheile derselben zu betrachten sei. Die Folgerungen, die Schröder in letzterer Beziehung aufstellte, fanden indessen bei den Chemikern keinen Eingang. Die Fragen, ob der Zusammensetzungsdifferenz C^2H^2 bei den Alkoholen $C^n\,H^{n+2}\,O^2$, den Säuren $C^n\,H^n\,O^4$ und den Aetherarten $C^n\,H^n\,O^4$ dieselbe Siedepunktsdifferenz entspreche und ob isomeren Aetherarten $C^n\,H^n\,O^4$ im Wesentlichen derselbe Siedepunkt zukomme, riefen eine lebhafte Discussion hervor. Kopp sah sich zu neuen experimentalen Untersuchungen veranlaßt, deren Resultate zu einer entschiedenen Bejahung dieser Fragen führten, während Schröder namentlich das Letztere als noch nicht außer Zweifel gesetzt betrachtete.

Schröder *****), Gerhardt, Lauvig u. A. versuchten den Einfluß der verschiedenen Elemente auf den Siedepunkt auszumitteln, ohne ein wesentliches Resultat zu erzielen. Nach Kopp †) ist die Lösung dieses Problems kaum zu

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLI. S. 79 u. 169.
**) Ueber die Molecularvolume der chemischen Verbindungen. 1843.
***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. L. S. 128.
****) Siedhitze der chemischen Verbindungen. 1844.
*****) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 154 u. 337; Bd. LXIV. S. 96 u. 367; Bd. LXVII. S. 45; Bd. LXXIX. S. 34.
†) Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 374.

hoffen. J. Pierre, welcher viele Siedepunkte bestimmt hat, sprach Zweifel darüber aus*), daß der Zusammensetzungsdifferenz $C^2 H^2$ bei analogen Substanzen überhaupt eine bestimmte, constante Siedepunktsdifferenz entspreche. Entschiedener noch sprach sich W. A. Miller **) darüber aus. Andererseits aber hoben andere Chemiker neue Fälle hervor, wo jene Regelmäßigkeit sich zeigt, so daß bei der Bestimmung der Formeln der organischen Verbindungen auch der Siedepunkt berücksichtigt wurde. Man stellte mitunter solche Formeln auf, daß der Zusammensetzungsdifferenz $X\,C^2 H^2$ eine Siedepunktsdifferenz von $X \,.\, 19^0$ ungefähr entsprach.

Da gerade in den letzten Jahren die Siedepunkte der organischen Verbindungen vielfach bestimmt worden sind ***), so hat Kopp seine Arbeiten einer neuen Revision unterworfen ****).

Kopp hat *****) folgende Siedepunktsregelmäßigkeiten aufgestellt:

1) Eine im Vergleich zu dem Weingeist $C^4 H^6 O^2$ $X\,C^2 H^2$ mehr oder weniger in ihrer Formel enthaltende Alkoholart $C^n H^{n+2} O^2$ siedet um $X \,.\, 19^0$ höher oder niedriger, als der Weingeist;
2) der Siedepunkt einer Säure $C^n H^n O^4$ liegt um 40^0 höher als der der entsprechenden Alkoholart $C^n H^{n+2} O^2$;
3) eine Aetherart $C^n H^n O^4$ siedet um 82^0 niedriger als die isomere Säure $C^n H^n O^4$.

Diese drei Sätze ergeben, wenn man von dem Siedepunkt des Weingeistes $= 78^0$ ausgeht, folgende Tabelle der theoretischen Siedepunkte für eine große Anzahl Glieder aus denjenigen Reihen analoger Körper, die überhaupt am vollständigsten erforscht sind. Zur Vergleichung setzen wir die beobachteten Siedepunkte hinzu.

Alkohole	Theoretische Siedepunkte	Beobachtete Siedepunkte	Säuren	Theoretische Siedepunkte	Beobachtete Siedepunkte
$C^2 H^4 O^2$ Holzgeist	59°	60—66,5° †)	$C^2 H^2 O^4$ Ameisensäure	99°	98,5—105°
$C^4 H^6 O^2$ Weingeist	78°	76—78,6°	$C^4 H^4 O^4$ Essigsäure	118°	114—120°
$C^6 H^8 O^2$ Propylalkohol	97°	96°	$C^6 H^6 O^4$ Propionsäure	137°	140—142°
$C^8 H^{10} O^2$ Butylalkohol	116°	109°	$C^8 H^8 O^4$ Buttersäure	156°	156—164°
$C^{10} H^{12} O^2$ Amylalkohol	135°	130—134°	$C^{10} H^{10} O^4$ Valeriansäure	175°	174—176°

*) Annuaire de chimie par Millon et Reiset. 1846.

**) Chem. Soc. Quart. Journ. Vol. I. p. 363.

***) Andrews, Quart. Journ. Lond. Chimic. Soc. Vol. I. p. 27. Delffs, neues Jahrb. f. prakt. Pharm. Bd. I. S. 1. Favre und Silbermann, Compt. rend. T. XXIII. p. 524. Kopp, Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. LV. S. 166; Bd. XCIV. S. 257; Bd. XCV. S. 307. Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 1 u. 223. Pierre, Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XV. p. 325; T. XIX. p. 193; T. XX. p. 5; T. XXI. p. 336; T. XXXI. p. 118; T. XXXIII. p. 199.

****) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVI. S. 2.

*****) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. L. S. 128.

†) Ueber die Ursachen, weshalb so viele Beobachter übereinstimmend für den Holzgeist einen zu hohen Siedepunkt fanden, hat sich Kopp (Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 280) ausführlich ausgesprochen.

Alkohole	Theoretische Siedepunkte	Beobachtete Siedepunkte	Säuren	Theoretische Siedepunkte	Beobachtete Siedepunkte
$C^{12}H^{14}O^2$ Caproylalkoh.	154°	148—154°	$C^{12}H^{12}O^4$ Capronsäure	194°	198—209°
$C^{14}H^{16}O^2$ Oenanthylalkohol	173°		$C^{14}H^{14}O^4$ Oenanthylsäure	213°	212°
$C^{16}H^{18}O^2$ Caprylalkoh.	192°		$C^{16}H^{16}O^4$ Caprylsäure	232°	236°
$C^{18}H^{20}O^2$	211°		$C^{18}H^{18}O^4$ Pelargonsäure	251°	260°
$C^{20}H^{22}O^2$	230°		$C^{20}H^{20}O^4$ Caprinsäure	270°	
$C^{22}H^{24}O^2$	249°		$C^{22}H^{22}O^4$	289°	
$C^{24}H^{26}O^2$ Lethal	268°		$C^{24}H^{24}O^4$ Laurinsäure	308°	
$C^{26}H^{28}O^2$	287°		$C^{26}H^{26}O^4$	327°	
$C^{28}H^{30}O^2$ Methal	306°		$C^{28}H^{28}O^4$ Myristinsäure	346°	
$C^{30}H^{32}O^2$	325°		$C^{30}H^{30}O^4$	365°	
$C^{32}H^{34}O^2$ Aethal	344°	360°	$C^{32}H^{32}O^4$ Palmitinsäure	384°	

Aetherarten		Theoretische Siedepunkte	Beobachtete Siedepunkte
$C^4H^4O^4$	Ameisensaures Methyl	36°	32,7—38°
$C^6H^6O^4$	Essigsaures Methyl	55°	55—59,5°
	Ameisensaures Aethyl		52,9—56,2° *)
$C^8H^8O^4$	Propionsaures Methyl		
	Essigsaures Aethyl	74°	71—78,5°
	Ameisensaures Propyl		
$C^{10}H^{10}O^4$	Buttersaures Methyl		93—102,1°
	Propionsaures Aethyl		90°
	Essigsaures Propyl	93°	95,8—101°
	Ameisensaures Butyl		100°
$C^{12}H^{12}O^4$	Valeriansaures Methyl		114—115,6°
	Buttersaures Aethyl		110—119°
	Propionsaures Propyl	112°	
	Essigsaures Butyl		114°
	Ameisensaures Amyl		114—116° **)
$C^{14}H^{14}O^4$	Capronsaures Methyl		
	Valeriansaures Aethyl		131—134°
	Buttersaures Propyl		130°
	Propionsaures Butyl	131°	
	Essigsaures Amyl		125—137,6°
	Ameisensaures Caproyl		

*) Außer der Uebereinstimmung der empirisch gefundenen Siedepunkte mit dem theoretischen ist hier auch die früher so hartnäckig bestrittene Thatsache zu beachten, daß diesen isomeren Aetherarten gleicher Siedepunkt zukommt.

**) Auch diese Beobachtungen sind von Wichtigkeit für die Entscheidung der Frage, ob diesen isomeren Aetherarten derselbe Siedepunkt zukommt.

	Aetherarten	Theoretische Siedepunkte	Beobachtete Siedepunkte
	Oenanthylsaures Methyl		
	Capronsaures Aethyl		120—162°
	Valeriansaures Propyl		
$C^{16} H^{16} O^{4}$	Buttersaures Butyl	150°	
	Propionsaures Amyl		155°
	Essigsaures Caproyl		
	Ameisensaures Oenanthyl		
	Caprylsaures Methyl		
	Oenanthylsaures Aethyl		
	Capronsaures Propyl		
	Valeriansaures Butyl		
$C^{18} H^{18} O^{4}$	Buttersaures Amyl	169°	
	Propionsaures Caproyl		
	Essigsaures Oenanthyl		
	Ameisensaures Capryl *)		
	Pelargonsaures Methyl		
	Caprylsaures Aethyl		
	Oenanthylsaures Propyl		
	Capronsaures Butyl		
$C^{20} H^{20} O^{4}$	Valeriansaures Amyl	188°	187—196°
	Buttersaures Caproyl		
	Propionsaures Oenanthyl		
	Essigsaures Capryl		193°
	Ameisensaures Pelargonyl		
	Caprinsaures Methyl		
	Pelargonsaures Aethyl		216—224°
	Caprylsaures Propyl		
	Oenanthylsaures Butyl		
$C^{22} H^{22} O^{4}$	Capronsaures Amyl	207°	211°
	Valeriansaures Caproyl		
	Buttersaures Oenanthyl		
	Propionsaures Capryl		
	Essigsaures Pelargonyl		
	Ameisensaures Caprinyl		
$C^{24} H^{24} O^{4}$	. . . .	226°	
$C^{26} H^{26} O^{4}$	. . . .	245°	
$C^{28} H^{28} O^{4}$	Laurostearinsaures Aethyl	264°	264—269° **)
$C^{30} H^{30} O^{4}$	. . . .	283°	
$C^{32} H^{32} O^{4}$	. . . .	302°	

*) Von dieser und den folgenden Aetherarten liegen nur sehr wenige und unsichern Bestimmungen vor, da es sehr schwer hält, diese Verbindungen rein darzustellen.

**) Von den Aetherarten mit höherem Atomgewicht liegt nur diese eine Bestimmung vor.

Aus der vorstehenden Vergleichung zieht Kopp den Schluß, daß seine oben angeführten Sätze richtig sind. Mit Rücksicht auf das in den Anmerkungen Gesagte, differiren die beobachteten Siedepunkte im Allgemeinen von den theoretischen nicht mehr, als die Unsicherheit der Beobachtungen selbst beträgt. Nimmt man an, daß die theoretischen Siedepunkte im Allgemeinen durch die Beobachtung bestätigt worden sind, so folgt daraus weiter, daß eine Methylätherart $C^{n} H^{n-1} (C^{2} H^{3}) O^{4}$ um 63° niedriger, eine Aethylätherart $C^{n} H^{n-1} (C^{4} H^{5}) O^{4}$ um 44° niedriger, eine Amylätherart $C^{n} H^{n-1} (C^{10} H^{11}) O^{4}$ um 13° höher siedet als die Säure $C^{n} H^{n} O^{4}$.

Kopp hat diese Betrachtungen noch auf weitere organische Verbindungen ausgedehnt. An die Benzoësäureverbindungen hat sich durch Cannizaro's Untersuchungen noch eine Reihe Verbindungen angeschlossen, die von dem der Benzoësäure entsprechenden Alkohol, dem Benzylalkohol, sich ableiten. Vergleicht man alle diese Verbindungen mit den entsprechenden in der vorstehenden Zusammenstellung aufgeführten, so ergiebt sich, daß die Benzoësäure- und Benzyl-Verbindungen im Allgemeinen um 154° höher sieden als die entsprechenden ameisensauren und Methyl-Verbindungen, um 135° höher als die entsprechenden essigsauren und Aethylverbindungen, um 78° höher als die entsprechenden valeriansauren und Amyl-Verbindungen. Aus letzteren berechnen sich die theoretischen Siedepunkte der benzoësauren und Benzyl-Verbindungen, wie folgt:

						beobachtet:
Valeriansäure	$C^{10} H^{10} O^{4}$	175°	Benzoësäure	$C^{14} H^{6} O^{4}$	253°	250°
Valerians. Methyl	$C^{12} H^{12} O^{4}$	112°	Benzoës. Methyl	$C^{16} H^{8} O^{4}$	190°	198,5—199,2°
„ Aethyl	$C^{14} H^{14} O^{4}$	131°	„ Aethyl	$C^{18} H^{10} O^{4}$	209°	207—212,9°
„ Amyl	$C^{20} H^{20} O^{4}$	188°	„ Amyl	$C^{24} H^{16} O^{4}$	266°	252—260,7°
Amylalkohol	$C^{10} H^{12} O^{2}$	135°	Benzylalkohol	$C^{14} H^{8} O^{2}$	213°	204—206,5°
Essigs. Amyl	$C^{14} H^{14} O^{4}$	131°	Essigs. Benzyl	$C^{18} H^{10} O^{4}$	209°	210°
Benzoës. Amyl	$C^{24} H^{16} O^{4}$	266°	Benzoës. Benzyl	$C^{28} H^{12} O^{4}$	344°	345°.

Einen anderen Ausgangspunkt zur Vergleichung von Verbindungen der Benzoësäurereihe mit Verbindungen aus der Reihe der sogenannten fetten Säuren scheint Cannizaro's Beobachtung für den Siedepunkt des Benzyläthers $C^{28} H^{14} O^{2}$ (310—315°) zu geben. Essigsaures Aethyl ($C^{8} H^{8} O^{4}$) (Siedepunkt 74°) und Aethyläther ($C^{8} H^{10} O^{2}$) (Siedepunkt 34°) haben dieselbe Zusammensetzungsdifferenz und fast genau dieselbe Siedepunktsdifferenz, wie benzoësaures Benzyl $C^{28} H^{12} O^{4}$ (344°) und Benzyläther $C^{28} H^{14} O^{2}$ (310—315°). — Chloracetyl $C^{4} H^{3} O^{2} Cl$ hat denselben Siedepunkt (55°) wie essigsaures Methyl $C^{6} H^{6} O^{4}$; Chlorbenzoyl $C^{14} H^{5} O^{2} Cl$ hat denselben Siedepunkt (195—198°) wie das dieselbe Zusammensetzungsdifferenz zeigende benzoësaure Methyl $C^{16} H^{8} O^{4}$ (198—199°).

Die Phenylverbindungen enthalten in ihrer Formel $C^{2} H^{2}$ weniger, als die entsprechenden Benzylverbindungen. Zieht man von den theoretischen Siedepunkten der letzteren 19° ab, so erhält man Zahlen, welche mit den für die Siedepunkte der Phenylverbindungen beobachteten sehr nahe übereinstimmen.

			beobachtet:
Phenylalkohol	$C^{12} H^{6} O^{2}$	194°	184—188°
Essigsaures Phenyl	$C^{16} H^{8} O^{4}$	190°	188°.

Eben so nahe stimmen die Siedepunkte des essigsauren Phenyls (190°) und des Jodphenyls (190°) mit einander überein wie die Siedepunkte des essigsauren Aethyls (74°) und des Jodäthyls (70—72°). Ferner ist die Differenz der

Siedepunkte des Jodphenyls (190°) und des Jodäthyls (70—72°) fast genau so groß, wie die der Siedepunkte von Chlorphenyl (136°) und Chloräthyl (11—12°).

Gleiche Regelmäßigkeiten finden sich auch bei der Zimmtsäure und deren Verbindungen.

			beobachtet:
Zimmtsäure	$C^{18} H^{8} O^{4}$	304°	293—304°
Zimmts. Methyl	$C^{20} H^{10} O^{4}$	241°	241°
Zimmts. Aethyl	$C^{22} H^{12} O^{4}$	260°	260—266°
Styron	$C^{18} H^{10} O^{2}$	264°	250—254°.

Innerhalb der einzelnen Gruppen kann, wenn die empirische Zusammensetzung einer Verbindung ermittelt ist, der Siedepunkt wirklich als ein Mittel benutzt werden, den chemischen Charakter der Verbindung feststellen zu helfen. Der Siedepunkt giebt z. B. einen sehr bestimmten Anhaltspunkt ab zur Entscheidung, ob eine Verbindung $C^{n} H^{n+2} O^{2}$ als eine Aetherart oder als eine Alkoholart zu betrachten sei. Butylalkohol $C^{8} H^{10} O^{2}$ siedet bei 116°, gewöhnlicher Aether $C^{8} H^{10} O^{2}$ dagegen bei 34°. Daß einem neutralen, durch Einwirkung oxydirender Mittel auf Amylalkohol entstandenen Körper, dessen procentische Zusammensetzung den Formeln $C^{10} H^{10} O^{2}$ oder $C^{20} H^{20} O^{4}$ entspricht, die letztere Formel zukommt und daß er als valeriansaures Amyl, nicht als Valeraldehyd zu betrachten ist, läßt sich mit Sicherheit sagen, wenn man weiß, daß dieser Körper bei 190° siedet. Dagegen läßt sich das bei 179° siedende Bittermandelöl $C^{14} H^{6} O^{2}$ nicht als benzoësaures Benzyl $C^{28} H^{12} O^{4}$ ansehen, denn der Siedepunkt der letzteren Verbindung muß viel höher liegen.

Die Regelmäßigkeiten in den Siedepunkten und die Beziehung der letzteren zur chemischen Zusammensetzung zeigen sich noch viel allgemeiner, so daß sich noch viele andere Gruppen dafür anführen lassen. Die Regel, daß bei chemisch analogen Substanzen der Zusammensetzungsdifferenz $C^{2} H^{2}$ eine Siedepunktsdifferenz von 19° entspricht, zeigt sich auch bei Aetherarten mit anderen Säuren als den aufgeführten, z. B.

$C^{2} H^{2}$	$C^{16} H^{7} NO^{4}$	nitrobenzoës.	Methyl	279°	19°
	$C^{18} H^{9} NO^{4}$	"	Aethyl	296—298°	
$C^{2} H^{2}$	$C^{8} H^{8} O^{2} S^{4}$	xanthons.	Methyl	179°	21°
	$C^{10} H^{10} O^{2} S^{4}$	"	Aethyl	200°	

Desgleichen auch bei den Aetherarten unorganischer Säuren, wie z. B. bei denen der Salpetersäure.

			berechnet:	beobachtet:
Salpeters.	Methyl	$C^{2} H^{3} NO^{6}$	66°	66°
"	Aethyl	$C^{4} H^{5} NO^{6}$	85°	85°
"	Propyl	$C^{6} H^{7} NO^{6}$	104°	?
"	Butyl	$C^{8} H^{9} NO^{6}$	123°	130°
"	Amyl	$C^{10} H^{11} NO^{6}$	142°	137—148°.

Auch bei den Verbindungen von Cyan mit Alkoholradicalen, den sogenannten Nitrylen und bei verschiedenen Chlorverbindungen hat diese Siedepunktsdifferenz 19° für die Zusammensetzungsdifferenz statt. Dagegen scheint bei oberflächlicher Betrachtung eine andere Siedepunktsdifferenz gar nichts seltenes zu sein. Die

Zahl dieser Fälle verringert sich aber bedeutend, wenn man in Erwägung zieht, daß jene Abhängigkeit der Siedepunktsdifferenz von der Zusammensetzungsdifferenz eben nur bei wirklich homologen Substanzen stattfindet. Darüber zu entscheiden, welche Verbindungen gleich constituirt und in Beziehung auf die Siedepunktsregelmäßigkeiten vergleichbar sind, giebt aber die Chemie noch oft genug ungenügende Auskunft, so daß neue Entdeckungen häufig die Unrichtigkeit früherer Behauptungen nachweisen. So gehören z. B. der allgemeinen Formel $C^n H^n O^2$ Aldehyde, Acetone und wahrscheinlich noch von diesen beiden Gruppen verschiedene Verbindungen an, so daß eine genaue Sichtung dieser Verbindungen jetzt bereits kaum möglich ist. Wohl allein aus diesem Grunde treten hier scheinbare Widersprüche auf, die sich lösen werden, sobald die angedeuteten Berichtigungen vom rein chemischen Standpunkt ausgeführt worden sind. Aehnliches gilt auch von den flüchtigen organischen Basen. Die verschiedenen Basen (Amidbasen, Imidbasen und Nitrylbasen) haben ungleichartigen chemischen Charakter und sind daher auch durchaus nicht mit einander vergleichbar. Die Formel $C^{10} H^{13} N$ gehört z. B. dem Amylamin, Propyläthylamin und Methyldiäthylamin an, aber sie sind keineswegs homolog und daher ist hier eben so wenig wie bei Methyläther und Weingeist (beide $C^4 H^6 O^2$) derselbe Siedepunkt zu erwarten.

Bei den Basen, die wirklich denselben chemischen Charakter besitzen, zeigen sich allerdings häufig Regelmäßigkeiten. So z. B. bei folgenden Amidbasen:

		berechnet:	beobachtet:
Anilin	$C^{12} H^7 N$	179°	182°
Toluidin	$C^{14} H^9 N$	198°	198°
Cumidin	$C^{18} H^{13} N$	236°	225°.

Auch von folgenden Imidbasen gilt das Gleiche:

		berechnet:	beobachtet:
Methylanilin	$C^{14} H^9 N$	185°	192°
Aethylanilin	$C^{16} H^{11} N$	204°	204°
Amylanilin	$C^{22} H^{17} N$	261°	258°.

Weniger übereinstimmend sind einige Nitrilbasen (Diäthylanilin, Aethylamylanilin, Diamylanilin ꝛc.), während andere, wie z. B. Pyridin, Picolin, Lutidin, Collidin, wiederum eine große Uebereinstimmung zeigen.

Eine nochmalige möglichst genaue Feststellung der Siedepunkte gerade der flüchtigen Basen würde sicher zu den interessantesten Resultaten führen und zu einem für die Chemie praktisch wichtigen Ergebniß, weil sich hier der Siedepunkt als ein Kennzeichen benutzen läßt, welcher Klasse von Basen eine Substanz von bestimmter chemischer Zusammensetzung angehört. Daß auch hier bestimmte Gesetzmäßigkeiten herrschen, dafür sind Anhaltspunkte genug vorhanden.

Bei einigen Reihen analoger Verbindung existirt jedoch die Siedepunktsdifferenz 19° für die Zusammensetzungsdifferenz $C^2 H^2$ bestimmt nicht. So z. B. geben aus der Reihe der Aetherarten $C^n H^{n+2} O^2$ mindestens die niederen Glieder eine größere Siedepunktsdifferenz:

Methyläther	$C^4 H^6 O^2$	— 21°
Methyl-Aethyläther	$C^6 H^8 O^2$	+ 11°
Aethyläther	$C^8 H^{10} O^2$	34°

Methyl-Amyläther / Aethyl-Butyläther	$C^{12} H^{14} O^2$	72° / 78—80°
Aethyl-Amyläther	$C^{14} H^{16} O^2$	112°
Butyl-Aether	$C^{16} H^{18} O^2$	100—104°
Amyläther	$C^{20} H^{22} O^2$	111—183°.

Größer als 19° ist die Siedepunktsdifferenz bei den Kohlenwasserstoffen $C^n H^{n-6}$ (22°,5) *), bei den Alkoholradicalen (bis zu 26°), den Chlor-, Brom- und Jodverbindungen derselben (21—31°), den Mercaptanen und den Schwefelverbindungen der Alkoholradicale (26—32°); kleiner dagegen bei einigen wasserfreien Säuren (Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure, Valeriansäure, Caprylsäure = 12,5—13°,5), den Aetherarten der Oxalsäure (11,5—12,7°), den homologen Aethern der Bernsteinsäure (9,5°), den Aetherarten der Kohlensäure (16,3—18°), den Verbindungen des Schwefelcyans mit Alkoholradicalen (14 bis 17°), den dem Bromelayl homologen Bromverbindungen (15°) und den homologen Aetherarten der Borsäure (16—17°).

Beseitigen werden sich diese Abweichungen allerdings nicht lassen, aber sie werden sich wohl einem allgemeiner gültigen Gesetz unterordnen, sobald man die Siedepunkte für andere Druckkräfte, als den mittleren Luftdruck, bestimmen kann. Es ist keineswegs anzunehmen, daß zwei Substanzen unter jedem beliebigen Druck dieselbe Differenz der Siedepunkte zeigen.

Wir haben noch einige Worte darüber zu sagen, wie die Temperatur des Siedepunktes bestimmt wird **). Die Flüssigkeit kommt in ein cylindrisches Siedegefäß. Steht von ersterer nur wenig zu Gebote, so kann man das Gefäß so eng nehmen, daß der Durchmesser desselben den der Thermometerkugel nur um weniges übertrifft. Durch einen auf das Siedegefäß aufgesetzten Kork geht in der Mitte die Thermometerröhre hindurch, verschiebbar, so daß man die Kugel des Thermometers in die Flüssigkeit oder in den Dampf derselben bringen kann; außerdem noch eine Glasröhre, welche durch einen Kühlapparat hindurch geht. Man beobachtet den Stand des Thermometers während des langsamen Abdestillirens der Flüssigkeit und zwar bis nur Weniges von derselben noch im Siedegefäß zurückgeblieben ist. Die letztere erhitzt man im Wasser- oder Sandbade oder auch direct mittelst einer kleinen Lampe. Man hat aber sorgsam darauf zu achten, daß weder die Flamme der Lampe noch das stärker erhitzte Sandbad durch Strahlung auf die im Dampfe befindliche Thermometerkugel einwirken kann. Ein stoßweises Kochen ist durch frisch ausgeglühtes Platin zu verhindern.

Stehen nur so kleine Mengen von Flüssigkeiten zu Gebote, daß durch fractionirte Destillation ein Product von ganz constantem Siedepunkt, was übrigens nur selten in aller Schärfe erreicht wird, nicht erlangt werden kann, so sind die Mittheilungen der oft nicht unerheblichen Temperaturveränderungen den Angaben vorzuziehen, welche nur auf der Beobachtung beruhen, wo das Thermometer bei kürzer dauerndem Versuch einen constanten Stand anzunehmen schien oder in welchen nur das Endresultat, wo wirklich einige Zeit ein constanter Stand eintrat, angegeben wird.

*) Phil. Mag. [4] Vol. IX. p. 256.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LV. S. 179. Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 40.

Mit großer Umsicht und Sorgfalt ist bei der Auswahl der Thermometer zu verfahren. Sie müssen aus sehr feinen, genau calibrirten, überall gleich weiten und gut gekühlten Glasröhren construirt werden. Hat man bei Bestimmung sehr hoher Temperaturen keine solchen zur Hand, so muß die ungleich weite Röhre auf eine cylindrische, genau gleich weite reducirt werden. Wie dies geschieht, hat Kopp *) angegeben. Ein Grad C muß an diesen Thermometern eine Länge von 2^{mm} haben, damit man bis auf $^1/_{10}{}^{mm}$ genau ablesen kann. Nach Kopp ist es sehr vortheilhaft, die Thermometer mit einer willkürlichen Millimeter-Scala zu versehen und für jedes Thermometer eine Reductionstabelle zu berechnen, welche für die abgelesenen Quecksilberstände angiebt, wie viel Graden C sie entsprechen. Da unter einer sehr großen Zahl von Thermometerröhren nur sehr wenige den eben erwähnten Anforderungen entsprechen, so hat man hierbei den großen Vortheil, daß, wenn an einem solchen Instrumente die Kugel zerbricht, der werthvollste Theil, die gleich weite Röhre, erhalten bleibt. Bei der Entwerfung der Reductionstabelle läßt sich übrigens der Umstand, daß der Siedepunkt meistens für einen andern als 760^{mm} Barometerstand bestimmt wird, ohne Mühe berücksichtigen, während es viel schwieriger und sehr unsicher ist, bei der Theilung der Scala in Thermometergrade darauf Rücksicht zu nehmen. Aendert sich die Lage der Fundamentalpunkte an einem Thermometer, wie dies mit der Zeit wohl bei jedem guten Thermometer geschieht, so rechnet man einfach eine neue Tabelle aus. Dies muß ohnehin ja auch bei einem unmittelbar in Thermometergrade getheilten Instrumente geschehen, sobald eine Verrückung der Fundamentalpunkte eingetreten ist.

Cavendish hat zuerst auf eine für genaue Temperaturbestimmungen nothwendige Correction aufmerksam gemacht, welche dann auszuführen ist, wenn das Quecksilber in einem Stück der Röhre des Thermometers eine andere Temperatur hat, als die des Reservoirs des Thermometers, welche eigentlich gemessen werden soll, ist. Näheres hierüber findet man in den Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 261. Für die Veränderlichkeit des Siedepunktes je nach dem Luftdruck läßt sich in der Art eine Reduction auf den Normalbarometerstand von 760^{mm} Quecksilberdruck ausführen, daß man für alle Flüssigkeiten annimmt, in sehr kleinem Abstand vom Siedepunkt entspreche auch hier, wie beim Wasser, eine Veränderung des Siedepunktes um $0,^01$ einer Veränderung im Barometerstand um $2,7^{mm}$.

W. B.

Silber (lat. argentum, franz. argent), ein Metall und zwar zur Gruppe der edlen Metalle gehörend. Chemisches Zeichen: Ag. Aequivalent: 1349,66 (O = 100) oder 108,146 (H = h).

Das Silber gehört zu den Metallen, die am frühesten bekannt waren; schon Moses erwähnt desselben. Der Name, welchen die ältesten Sprachen diesem Metall geben, bezieht sich auf die Farbe desselben. So ist z. B. auch der griechische Name *ἄργυρος* von *ἀργός*, weiß, abgeleitet und dann später die lateinische und französische Benennung. Aus demselben Grunde nannten auch die Alchemisten das Silber den Mond der Metalle (Luna, Diana).

Das Silber findet sich in der Natur gediegen und zwar sehr häufig zerstreut auf den silberhaltigen Blei- und Kupfererzablagerungen; wahrscheinlich haben auf

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 143.

diese Erze im Schooße der Erde chemische Reactionen eingewirkt, durch welche die übrigen Metalle oxydirt und dann entfernt worden sind, während das Silber im metallischen Zustande zurückblieb. Das gediegene Silber kommt theils in kleinen Krystallen (Würfel, Octaëder) vor, theils drahtförmig, haarförmig, gestrickt, dendritisch, eingesprengt und derb. Mitunter findet man auch beträchtliche Massen von gediegenem Silber; das berühmteste Silberlager dieser Art ist Kongsberg in Norwegen, wo man Massen gediegenen Silbers bis zu 560 Pfd. schwer findet. Außerdem kommt das Silber in Legirungen mit andern Metallen vor, so z. B. dem Golde, Quecksilber, Kupfer, Platin ꝛc. Meistens kommt das Silber mit Schwefel verbunden auf denselben Lagerstätten wie das Blei und häufig im Bleiglanz oder auch in Kupfererzen höchst fein vertheilt vor. Die vorzüglichsten Silbererze sind: der Silberglanz oder das Silberglaserz AgS, in Octaëdern und Würfeln krystallisirt, vorzüglich im Erzgebirge, in Ungarn, Norwegen, Spanien und Südamerika; Selensilberglanz $AgSe$; Silberkupferglanz $Cu^2S + AgS$, in rhombischen Säulen; selenischer Silberkupferglanz $Cu^2Se + AgSe$; Miargyrit $AgS + SbS^3$; Polybasit $9(CuS, AgS), SbS^3$; das Dunkelrothgültigerz $3AgS + SbS^3$; das Lichtrothgültigerz $3AgS + AsS^3$; das Sprödglaserz oder Schwarzgültigerz $6AgS + SbS^3$; der Xanthokon $3AgS, AsS^5 + 2(3AgS), AsS^3$; Silberwismutherz (Schwefelblei mit Schwefelsilber und Schwefelwismuth) und die Fahlerze (Doppelsulfosalze), in denen Schwefelantimon und Schwefelarsenik die Säure, Schwefelsilber, Schwefelkupfer, Schwefelzink und Schwefeleisen die Basen ausmachen. Außerdem findet sich das Silber noch in Verbindung mit Chlor (Hornsilber), Brom und Jod, oft in ziemlich bedeutenden Mengen.

Nach Malaguti, Durocher und Sarzeaud*) kommt das Silber in kleinen Mengen allgemein verbreitet in der Natur vor. Sie haben dasselbe im Meerwasser des Oceans, einige Meilen von der Küste von Saint-Malo und in der Asche von Seetang gefunden; ersteres enthält etwa ein Hundertmilliontel, letzteres ein Hunderttausendstel Silber. Natürlich enthält auch das Meersalz und die daraus bereiteten Präparate (Soda, Salzsäure) Silber, desgleichen auch das Steinsalz der Lorraine, das gewiß vom Urmeere herstammt. Die Untersuchungen der Aschen verschiedener Landpflanzen lassen für die genannten Chemiker keinen Zweifel, daß sie wirklich Silber enthalten und eben so auch die vorweltlichen Pflanzen, da es in der Asche von Steinkohlen nachgewiesen wurde. Auch wurde im Ochsenblut Silber aufgefunden.

Die Alten gewannen das Silber aus den Erzen, indem sie es mit Blei auszogen und dann von diesem wieder schieden; eine Methode, die noch heute bei Erzen gebräuchlich ist, die gediegenes Silber enthalten. Man pocht die Erze klein und trennt sie so viel als möglich durch Schlämmen von der Gangart; dann schmilzt man die Erze mit der gleichen Menge Blei zusammen (Eintränkungsarbeit) und erhält so eine Legirung von Blei und Silber, die man Werkblei nennt. Eben diese Legirung erhält man auch bei silberhaltigen Bleierzen. Durch die sogenannte Cupellation oder das Abtreiben wird das Silber vom Blei getrennt. Diese Operation beruht darauf, daß das Blei sich oxydirt, wenn es bei Zutritt der Luft erhitzt wird, während das Silber im metallischen Zustande zurückbleibt. Man

*) Compt. rend. T. XXIX. pag. 780.

schmilzt zu diesem Ende das Werkblei auf dem sogenannten Treibheerde. Dies ist ein Pariser Heerd, der aus festgestampfter, ausgelaugter Holzasche und Knochenasche besteht, in dessen Mitte sich eine Vertiefung zum Ansammeln des Silbers befindet. Der Heerd wird von der Flamme eines nebenstehenden Ofens bestrichen. Das Blei schmilzt sehr schnell und dann führt man durch ein Gebläse Luft hinzu. Die Oxydation des Bleies beginnt sofort; mit der Zeit schmilzt die Bleiglätte und nimmt dann alle fremden Metalle in sich auf. An der Seite des Heerdes ist eine Rinne angebracht, die Glättgasse, durch welche das Bleioxyd (die Glätte) abfließt. Die zuerst abfließende Glätte enthält zumeist die fremden Metalle. Wegen dieser starken Verunreinigung nennt man sie Abstrich oder Unart und trennt sie von der späteren, reineren Glätte, wenn man diese als solche verkaufen will. Zum Theil wird auch die Glätte von dem Pariser Heerde eingesogen. Die zuletzt abfließende Glätte (reiche Glätte) wird wieder besonders gesammelt, da sie eine beträchtliche Menge Silber enthält. Nach und nach läßt man das Gebläse stärker gehen, um die Oxydation zu beschleunigen, bis endlich alles Blei oxydirt ist und allein noch das metallische Silber vorhanden ist. Das Ende dieser Operation erkennt man sehr genau durch eine eigenthümliche Erscheinung. Geht die Operation zu Ende, so findet sich nur noch eine dünne Schicht von geschmolzenem Blei auf dem Silber, das sich sehr schnell oxydirt und abfließt, wobei die Farben der dünnen Blättchen auftreten. Die Oberfläche schillert also in Regenbogenfarben, aber sehr bald zerreißt die dünne Schicht wie ein Schleier und das Silber leuchtet dann mit einem weißen matten Licht oder es zeigt sich, wie man sich ausdrückt, der Silberblick. Deshalb nennt man dieses Silber auch Blicksilber. — In Clausthal erhält man aus 160 Ctr. Werkblei 56 bis 62 Mark Silber und 6 bis 9 Ctr. reiche Glätte.

Soll das Werkblei mit Vortheil direct abgetrieben werden, so muß es wenigstens $^1/_{5000}$ Silber enthalten. Mit ärmerem Blei wird vorher noch eine Operation vorgenommen, um das Silber mehr zu concentriren. Schmilzt man nämlich große Massen von solchem armen Blei und läßt diese langsam erkalten, während man häufig die flüssige Masse mit einem eisernen Spatel umrührt, so bildet sich ein krystallinisches Pulver, das sehr arm an Silber ist. Wird dieses von Zeit zu Zeit entfernt, so concentrirt sich das Silber nach und nach in dem flüssig bleibenden Blei. Wiederholt man diese Operation öfters, so kann man endlich den gehörigen Silbergehalt erzielen und dann wird das Blei abgetrieben.

Bei der Verarbeitung der silberhaltigen-Kupfererze wird das Schwarzkupfer (3 Th.) mit Blei (10 bis 12 Th., die möglichst schon Silber enthalten oder auch mit reicher Glätte) zusammengeschmolzen. Läßt man die Masse dann langsam erkalten, so trennt sich das Kupfer vom Blei, das den ganzen Silbergehalt in sich aufgenommen hat. Oder man erwärmt die erkaltete Legirung von Neuem und schmilzt so das silberhaltige Blei aus, das leichter schmilzt als das Kupfer. Um das Silber für sich zu erhalten, wird das Blei gleichfalls abgetrieben.

Parkes hat vorgeschlagen *), das Silber aus dem Werkblei mittelst Zink zu gewinnen. Man schmilzt das Werkblei unter Umrühren mit Zink, dessen Menge sich nach dem Silbergehalt richtet, zusammen und läßt das Ganze bei einer Temperatur, wobei es eben noch flüssig bleibt, eine Zeit lang ruhig stehen. Das

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXIX. S. 466; Bd. CXXIII. S. 310.

Zink, welches alles Silber aufgenommen hat, sammelt sich an der Oberfläche und erstarrt hier, so daß es von dem noch flüssigen Blei abgenommen werden kann. Das Zink wird dann durch verdünnte Schwefelsäure oder Salzsäure aufgelöst oder abdestillirt. Nach Gurlt *) erhielt man aus 20 Ctr. Werkblei, die 90 bis 120 Unzen Silber enthielten, das Silber bis auf 1 oder $^1/_2$ Unze. Ueber diese Art der Entsilberung hat Karsten bereits 1812 Versuche angestellt, die er in neuester Zeit wieder aufnahm, nachdem er gehört hatte, daß man in Caermarthenshire (Südwales) das Silber durch Zink aus dem Blei ausscheide **). Er überzeugte sich, daß dadurch das Blei vollständig entsilbert werde, aber in dem entsilberten Blei bleibt stets eine geringe Menge Zink ($^3/_4$ bis 1 Proc.) zurück und dieser Umstand könnte wohl ein Hinderniß der Einführung der Silberscheidung durch Zink abgeben, da letzteres vom Blei auch in ziemlich hoher Temperatur hartnäckig zurückgehalten wird und daher nicht abdestillirt werden kann, wodurch dem Blei einige Sprödigkeit mitgetheilt wird, so daß es zu manchen Zwecken, wie z. B. zur Darstellung von Röhren, weniger brauchbar sein könnte. Das Zink enthält neben dem Silber stets noch Blei und beide bleiben beim Abdestilliren des Zinks zurück, so daß das Blei stets besonders abgetrieben werden muß. Karsten empfiehlt diese Methode besonders bei sehr armen Werken, welche die Entsilberungskosten durch die Treib- und Frischarbeit nicht tragen.

Eine zweite Art, durch die man das Silber aus den Erzen auszieht, ist die sogenannte Amalgamation, die zuerst von den Spaniern in Meriko angewendet wurde, während sich die Indianer vor Ankunft der Spanier wahrscheinlich damit begnügten, den Silber führenden Sand zu waschen oder hinlänglich reine Erze zu schmelzen. Durch das Amalgamationsverfahren wird jetzt das meiste Silber dargestellt. Das Nähere über dieses Verfahren s. in d. Art. Amalgamation Bd. I. S. 142.

Im Mansfeldischen ist beim Ausziehen des Silbers aus dem Kupfer in neuerer Zeit das Quecksilber ganz außer Gebrauch gekommen. Augustin gründete ein neues Verfahren der Silbergewinnung auf die von Wetzlar ***) entdeckte Thatsache, daß Chlorsilber von einer gesättigten Kochsalzlösung beim Sieden in einem beträchtlichen Maaße aufgelöst wird. Zunächst also werden die Erze mit Kochsalz geröstet, dann das dadurch entstandene Chlorsilber durch Kochsalzlösung ausgezogen und das Silber aus dieser Lösung durch metallisches Kupfer gefällt ****). Aber auch diese Methode ist hier bereits wieder aufgegeben worden. Neuerdings verwandelt man auf Vorschlag von Ziervogel die Schwefelverbindungen von Silber und Kupfer durch Rösten in schwefelsaure Salze; erhitzt man diese stärker, so wird das schwefelsaure Kupferoxyd zersetzt, so daß das schwefelsaure Silberoxyd von dem Kupferoxyd durch Auflösen in heißem Wasser getrennt werden kann. Aus dieser Auflösung wird das Silber gleichfalls durch metallisches Kupfer niedergeschlagen.

Die Augustin'sche Methode der Entsilberung des Kupfersteines oder des

---

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXIII. S. 303.

**) Chem. Centralbl. 1853. S. 134.

***) Schweigg. Journ. Bd. LI. S. 371.

****) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXVI. S. 147. Die Augustin'sche Silberertraction in ihrer Anwendung auf Hüttenproducte und Erze, von Grützner, Braunschweig 1851. Chem. Centralbl. 1856. S. 339.

daraus erzeugten Schwarzkupfers hat sich an anderen Orten also nicht unter allen Umständen günstiger herausgestellt, als der Saiger- oder Amalgamationsproceß. Im Mansfeldischen fällt der Kupferstein sehr rein aus und deshalb konnte man hier die Augustin'sche Methode mit Vortheil benutzen, während man an anderen Orten einen zu großen Verlust an Silber erlitt, dessen Ursachen Plattner näher erforscht hat *). Beim Rösten des Kupfersteines mit Kochsalz bilden sich, wenn dieser sehr unrein ist, gleichzeitig verschiedene andere Chlormetalle, die sich zum Theil verflüchtigen und dabei Silber mit fortreißen. Aehnliche Versuche über die Verflüchtigung des Silbers beim Rösten hatte schon früher Fuchs angestellt **).

Alle bis jetzt bekannten Methoden der Entsilberung zeigten sich bei der Verarbeitung der reichen Erze von Joachimsthal, welche im Durchschnitt 5 Mark Silber und 5 bis 10 Proc. Nickel und Kobalt enthalten, ungenügend. Nach einigen Versuchen ist es Patera gelungen, namentlich durch zweckmäßige und sinnreiche Uebertragung einiger analytischer Methoden auf die Darstellung im Großen, einen möglichst einfachen Proceß anzugeben, nach welchem alle reichhaltigen Erze von Joachimsthal gleichförmig und zwar mit sehr geringen Kosten und sehr geringem Metallabgange zu Gute gemacht werden können ***). Hierbei werden alle drei Metalle (Silber, Kobalt und Nickel) durch einen Proceß gewonnen. Das Erz, namentlich Rothgültigerz, welches den Hauptreichthum der Joachimsthaler Vorkommen bildet, wird in einem Flammofen nach dem Verfahren von Regnault und Cumenge geröstet und während dessen Wasserdampf darüber geleitet. Durch den Wasserdampf wird das Schwefelsilber zerlegt; der Schwefel geht als Schwefelwasserstoff fort, während das Silber im metallischen Zustande zurückbleibt. Nickel und Kobalt waren im gerösteten Erz als wasserfreie, arsensaure Salze vorhanden.

Das geröstete Erz wird zuerst mit verdünnter Schwefelsäure bis gegen 40° C. erwärmt, um den größten Theil von Nickel und Kobalt zu entfernen, während das Silber von der verdünnten Säure nicht angegriffen, sondern nur bloß gelegt, und so der späteren Einwirkung der Salpetersäure leichter zugänglich gemacht wird. Die salpetersaure Lösung enthält neben dem Silber noch Nickel, Kobalt, Eisen und Arsensäure. Das Silber wird als Chlorsilber gefällt; letzteres wird gut ausgewaschen, dann mit Wasser, dem etwas Schwefelsäure zugesetzt worden, übergossen und durch metallisches Eisen reducirt. Das reducirte Eisen wird hierauf im Graphittiegel eingeschmolzen und in Barren gegossen.

Nach Versuchen, die im Großen angestellt worden sind, belaufen sich die Herstellungskosten für die Mark Silber auf 3 fl. 10 kr. Da aber die Erze, die zur Verarbeitung kommen, alle etwas Kupfer und Wismuth und durchschnittlich ungefähr 5 Proc. Kobalt und Nickel enthalten, deren völlige Zugutemachung in obiger Berechnung mit inbegriffen ist, so kann man annehmen, daß diese Metalle allein die Kosten decken werden und daß man das Silber als Nebenproduct erhalten wird. So günstige Resultate sind weder durch die Amalgamation, noch durch den Schmelzhüttenbetrieb zu erreichen.

Vor diesem Verfahren beschäftigte sich Patera mit einem anderen, das

---

*) Chem. Centralbl. 1854. S. 888; 1855. S. 108. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 119.

**) Berichte d. Wiener Akad. 1850, October. S. 270.

***) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 57; Bd. CXXXIX. S. 271.

namentlich in theoretischer Beziehung sehr interessant ist *). Er behandelte das Erz auf nassem Wege mit Schwefelnatrium, um das Schwefelarsen aufzulösen und das Silber als fein vertheiltes Schwefelmetall auszuscheiden, welches dann durch eine Auflösung von Kupferchlorid in Chlorsilber verwandelt wurde. Zur Extraction des letzteren diente dann statt der Kochsalzlösung unterschwefligsaures Natron, das eine bedeutend größere Lösungsfähigkeit für Chlorsilber besitzt. Bei der Durchführung im Großen zeigte sich indessen, daß dieses Verfahren zu umständlich war.

Ein anderes Extractionsverfahren für Silbererze mit Extraction ohne Silberverlust hat Markus angegeben **). Das fein gesiebte Erz wird mit Eisenkies gemengt und mit Wasserdämpfen geröstet. Das geröstete Erz wird mit einer Lösung von Chlornatrium und Kupferchlorid übergossen und unter öfterem Umrühren eine Zeit lang mäßig erwärmt. Getrocknet wird es zerkleinert und dann kurze Zeit in einer hermetisch verschlossenen beweglichen Muffel geglüht. Nach dem Erkalten wiederum fein gerieben, wird das Kupferchlorid ausgesüßt und das etwa mitaufgelöste Silber daraus gefällt, so daß die Lösung von Kupferchlorid stets wieder gebraucht werden kann. Das Chlorsilber wird dann mit Kochsalzlösung ausgezogen und gefällt. Das gleichzeitig in den Erzen enthaltene Kobalt und Nickel kann durch Schwefelsäure ausgezogen und gewonnen werden. Auf diese Art werden aus Erzen mit einem Silbergehalt von 2 Mark 3$^3/_4$ Lth. durch einmaliges Behandeln 93 Proc. Silber gewonnen. Bei einer Wiederholung des Verfahrens sollen sich die Erze ganz entsilbern lassen.

Gurlt hat vorgeschlagen ***), die Entsilberung durch Kochsalzlösung unmittelbar auf Erze oder Hüttenproducte anzuwenden, welche das Silber als Schwefelsilber enthalten. Die Kochsalzlösung wird hierbei mit 10 bis 15 Proc. einer gesättigten Lösung von Kupferchlorid versetzt. — Auch der alte Vorschlag von Gmelin ****) und Rivero, zum Ausziehen des Chlorsilbers Ammoniakflüssigkeit anzuwenden, ist neuerdings wiederum von Swindell in Erinnerung gebracht worden. Nach ihm soll man die durch einfaches Rösten möglichst vollständig oxydirten Erze sogleich mit Aetzammoniak ausziehen. In Frankreich hat man allerdings früher einige Versuche dieser Art ausgeführt, doch hat diese Methode weiter keine Beachtung gefunden.

Becquerel hat sich seit 20 Jahren mit Versuchen beschäftigt, um beim Ausbringen des Silbers an die Stelle der Amalgamation die elektrochemische Behandlung zu setzen *****). Die Versuche wurden mit mehr als 10,000 Kilogrm. von silberhaltigen Blei- und Kupfererzen angestellt, die aus verschiedenen Gegenden (Mexiko, Peru, Columbien und vom Altai) herstammten. Die Menge der gleichzeitig in Arbeit genommenen Erze schwankte zwischen 100 Grm. (6,84 Lth.) und 1000 Kilogrm. (20 Ctr.) und die Menge des in 24 Stunden gewonnenen Silbers zwischen einigen Decigrammen und 1 bis 2 Kilogrm. Gerade diejenigen Erze, welche der Amalgamation und der Schmelzung am hartnäckigsten widerstehen,

*) Jahrb. d. k. k. geologischen Reichsanstalt. 1851. Bd. III. S. 52.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXL. S. 112.
***) Ebend. Bd. CXX. S. 433.
****) Pogg. Ann. Bd. IX. S. 615.
*****) Compt. rend. T. XXXVIII. pag. 1095.

z. B. die blendehaltigen und die Fahlerze, ließen sich auf diese Art am leichtesten behandeln. Auf Einzelnheiten geht Becquerel hier nicht ein, da er über diese Versuche ein eigenes Werk schreiben will.

Pattinson macht darauf aufmerksam, daß bei der Bereitung des basischen Chlorbleies, welches neuerdings statt Bleiweiß in großen Massen als Farbe verbraucht wird, ein Rückstand bleibt, der neben Blei alles im verarbeiteten Blei ursprünglich enthaltene Silber einschließt. Er schlägt daher vor, 4 Th. dieses Rückstandes mit 1 Th. Kochsalz und 1 Th. Eisenfeilspänen zu schmelzen; beim Erkalten setzen sich das Blei und Silber zu Boden und können dann leicht von den Schlacken abgelöst werden.

Das im Großen gewonnene Silber enthält stets noch fremde Metalle; so z. B. das Blicksilber oft bis zu $^1/_{16}$ seines Gewichtes Blei. Um diese Verunreinigungen zu beseitigen, wird das Silber noch einmal umgeschmolzen und hierbei die fremden Metalle unter Einfluß der atmosphärischen Luft oxydirt. Das Schmelzen wird in einer Kapelle vorgenommen, einer halbkugeligen Vertiefung, die ähnlich wie beim Treibheerde mit einer dicken Schicht von ausgelaugter Holzasche und Knochenasche ausgefüttert ist. Von dieser werden die geschmolzenen Oxyde der dem Silber beigemischten Metalle eingesogen. Diese Höhlung füllt man mit Holzkohlen und legt das Silber darauf. Die Verbrennung wird durch ein Gebläse unterhalten, welches gleichzeitig den Sauerstoff für die Oxydation der Metalle liefert. Auf diese Art verringert man die Beimengungen des Silbers bis auf 1 Proc.

Chemisch reines Silber bereitet man in der Regel auf die Weise, daß man Silberlösungen durch Kochsalzlösung oder Salzsäure fällt, wobei alle fremden Metalle in der Lösung zurückbleiben. Das Chlorsilber schmilzt man dann mit kohlensaurem Natron zusammen. Regnault empfiehlt 100 Th. trocknes Chlorsilber mit 70 Th. Kreide und 4 bis 5 Th. Kohle zu mischen und dann in einem Thontiegel zu schmelzen. Es bildet sich hierbei Kohlenoxydgas, das entweicht, Chlorcalcium und metallisches Silber. Man kann auch das Chlorsilber auf galvanischem Wege reduciren, indem man es mit Zink und verdünnter Salzsäure zusammenbringt. Anstatt der kohlensauren Alkalien oder des Kalks kann man das Chlorsilber auch mit organischen Substanzen, z. B. Colophonium, zusammenschmelzen. Man mengt 3 Th. trocknes Chlorsilber mit 1 Th. Colophonium. Hierbei verbindet sich der Wasserstoff aus dem Colophonium mit dem Chlor zu Chlorwasserstoffsäure, die entweicht, während der Kohlenwasserstoff zurückbleibt.

Brunner empfiehlt zur galvanischen Zersetzung des Chlorsilbers *), dasselbe in eine auf der äußern Fläche, bis auf einen kreisrunden Theil von 1 bis 2 Zoll Durchmesser am Boden, mit Wachs überzogene Schale von Silber, Platin oder Kupfer zu bringen, diese in eine größere irdene Schale auf eine Scheibe amalgamirten Zinks zu setzen, so daß sich jene nicht mit Wachs überzogene Fläche und das Zink berühren, mit Schwefelsäure angesäuertes Wasser einzugießen, bis die Metallschale ganz davon bedeckt ist, nach Zersetzung des Chlorsilbers, die bei richtigem Verhältniß der Schwefelsäure und der angewendeten Zinkplatte in 24 bis 48 Stunden vollendet ist, das Silber mit Wasser auszuwaschen und einen etwaigen

*) Pogg. Annal. Bd. LV. S. 85.

Gehalt an Chlorsilber mittelst verdünnten Ammoniaks auszuziehen. — Eine ganz ähnliche Vorrichtung hat Wandesleben angegeben *). Nach Böttger **) giebt es kein einfacheres, reinlicheres und wirksameres Reductionsmittel für Chlorsilber, wie überhaupt für in Wasser sowohl lösliche, als unlösliche Silbersalze, als Stärkezucker unter Mitwirkung von kohlensaurem Natron oder Aetzkali und Aetznatron. Ueberschüttet man frischgefälltes, gehörig ausgesüßtes Chlorsilber in einer Porzellanschale mit einer hinreichenden Menge einer Auflösung von kohlensaurem Natron (1 Th. krystallisirtes und 3 Th. Wasser), fügt ein dem Gewichte des Chlorsilbers ungefähr gleiches Quantum Stärkezucker hinzu und erhitzt dann bis zum Sieden, so ist die Reduction selbst bei größeren Quantitäten schon in wenigen Minuten beendet. Das reducirte Silber erscheint dann als ein sehr zartes dunkelgraues Pulver, das vermöge seiner Schwere leicht durch bloßes Decantiren und mehrmaliges Ueberschütten mit Wasser gereinigt werden kann. — Ein ähnliches Verfahren wird in der Pariser Münze bereits seit mehreren Jahren auf Vorschlag von Bool befolgt ***).

Da das chemisch reine Silber in der Regel aus den kupferhaltigen Legirungen (Münzen ɪc.) dargestellt wird, so schlägt Wicke vor ****), solche in Salpetersäure zu lösen, die Lösung zur Trockne einzudampfen, den Rückstand in Wasser zu lösen und dann beide Oxyde durch überschüssiges kohlensaures Natron zu fällen. Die kohlensauren Salze werden mit einer Auflösung von Traubenzucker gekocht und dadurch in metallisches Silber und Kupferoxydul verwandelt. Digerirt man den ausgewaschenen Niederschlag mit kohlensaurem Ammoniak, so löst sich das Kupferoxydul auf und das Silber bleibt zurück.

Das Silber zeichnet sich vor allen übrigen Metallen durch seine schöne weiße Farbe und durch den großen Glanz aus, der durch den Einfluß der atmosphärischen Luft nicht getrübt wird, sofern diese von schwefligen Dämpfen frei ist. Ist das Silber im Laufe der Zeit durch die Einwirkung von Schwefelwasserstoffgas, von dem die menschlichen Wohnungen nie ganz frei sind, mißfarbig geworden, oder wie man sagt, angelaufen, so läßt es sich nach Böttger *****) auf elektrolytischem Wege in einer unglaublich kurzen Zeit völlig wieder wie neu herstellen, selbst wenn die vollständige Reinigung auf keine andere Weise gelingen will. Man bringt eine gesättigte Lösung von Borax in Wasser oder eine Aetzkalilauge von mäßiger Concentration in heftiges Sieden und taucht hierin die in ein siebartig durchlöchertes Gefäß von Zink gelegten mißfarbigen Gegenstände ein oder man braucht letztere nur an verschiedenen Stellen mit Zinkstücken zu berühren, so verschwindet der graue oder schwärzliche Ueberzug sofort.

Ist das Silber sorgfältig polirt, so reflectirt es mehr Licht und Wärme als irgend ein anderes Metall; das Ausstrahlungsvermögen für Wärme ist daher sehr schwach, so daß ein verschlossenes silbernes Gefäß die darin befindliche Flüssigkeit längere Zeit warm erhält. Das Silber ist härter als Gold, aber weniger hart als Kupfer, indessen wird seine Härte durch einen geringen Zusatz

*) Jahrb. f. prakt. Pharm. Bd. XXV. S. 102.
**) Jahresb. d. phys. Vereins zu Frankfurt a. M. 1853—54.
***) Compt. rend. T. XXXII. pag. 687.
****) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVIII. S. 143.
*****) Polytechn. Notizblatt 1857. No. 6.

von Kupfer bedeutend vermehrt. Aus diesem Grunde wird fast nie reines Silber, sondern stets die Legirung mit Kupfer verarbeitet. Nach dem Golde läßt sich das Silber am meisten dehnen und strecken; es läßt sich sowohl zu dünnen Blättchen ausschlagen als auch zu sehr feinen Fäden ausziehen. So läßt sich z. B. ein Gran Silber zu einem 400 Fuß langen Draht ziehen. Es besitzt dabei doch eine große Zähigkeit, so daß ein Draht von 2^{mm} Durchmesser erst bei einer Belastung von 170 Pfd. zerreißt. Baudrimont hat die Festigkeit des Silbers bei verschiedenen Temperaturen bestimmt *). Sie beträgt im Mittel für 1^{mm} Querschnitt bei 0° 56,65 Pfd., bei 100° 46,53 Pfd. und bei 200° 37,15 Pfd. Es schmilzt in der Weißglühhitze bei einer Temperatur von ungefähr 1000° und verflüchtigt sich zwischen den Kohlenspitzen einer galvanischen Batterie oder unter dem Einfluß eines Brennglases. Spec. Gew. = 10,5.

Durch Schmelzen kann man das Silber in Krystallen (Würfel) erhalten. Desgleichen auch durch einen schwachen galvanischen Strom. Durch Einleiten des Stromes von 2 Bunsen'schen Elementen in eine concentrirte Lösung von salpetersaurem Silberoxyd erhielt Leykauf große Krystalle (bis zu einem Durchmesser von 3^{mm} und einem Gewicht von 91 Milligrm.) in einer neuen Form, die manchem Diamant ähnlich und von Dauber genau bestimmt worden ist **). Selbst auf Silber, welches in einer mit Wasser überlagerten concentrirten Lösung von salpetersaurem Silberoxyd steht, wird nach Wöhler ***) metallisches Silber in Gestalt feiner, aber oft ansehnlich hoher Verästelungen oder Dendriten reducirt, die stets nur an einigen wenigen Punkten entstehen. Desgleichen überzieht sich nach Wicke ****) eine mit einem Silberstreifen umwundene Phosphorstange, in eine ziemlich concentrirte Lösung von salpetersaurem Silberoxyd gestellt, mit einer äußerst glänzenden Decke von krystallinischem Silber.

Zum Sauerstoff hat das Silber wenig Verwandtschaft; es bleibt an der Luft, vorausgesetzt, daß diese frei von Schwefelwasserstoffgas ist, oder in Wasser bei jeder Temperatur unverändert. Aber wenn man reines Silber beim Zutritt der Luft schmilzt und eine Zeit lang im Fluß erhält, so absorbirt es eine beträchtliche Menge Sauerstoff, die es während des Erkaltens wieder abgiebt. Anfangs erstarrt die Oberfläche des geschmolzenen Silbers, dann zerklüftet sie sich und das Sauerstoffgas entweicht in großer Menge unter Geräusch aus allen Spalten und treibt einen Theil des geschmolzenen Silbers vor sich her, welches gleichfalls fest wird und dann Hervorragungen bildet. Bei bedeutenden Silbermassen erfolgt das Entweichen des Sauerstoffs erst nach geraumer Zeit und die glatte Oberfläche scheint dann gleichsam wie durch unterirdische Eruptionen zerrissen zu werden, wobei sich Silberberge und Verzweigungen aller Art oft zu einer bedeutenden Höhe von vielen Zollen erheben. Das Aufwallen hält eine Viertel- oder halbe Stunde und selbst noch länger an, je nachdem man mehr oder weniger ansehnliche Silbermassen unter Händen hat und je nachdem die Abkühlung mehr oder minder schnell stattfindet. Führt man das geschmolzene Metall plötzlich in den festen Zustand über, indem man dasselbe in Wasser gießt, so findet derselbe Vorgang statt, da aber hier das Sil-

*) Annal. de chim. et de phys. [3] T. XXX. pag. 304.
**) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXVIII. S. 68.
***) Ebend. Bd. LXXXV. S. 253.
****) Ebend. Bd. LXXXII. S. 145.

der sehr fein zertheilt wird und das Erstarren sehr plötzlich eintritt, so sind die Hervorragungen nur klein und gleichförmig über die ganze Oberfläche vertheilt. Diese Erscheinung ist unter dem Namen: Spritzen des Silbers bekannt und wurde zuerst von S. Lucas wissenschaftlich zur Sprache gebracht *).

Will man die Aufnahme des Sauerstoffs durch geschmolzenes Silber demonstriren, so schmelze man 6 bis 8 Pfd. sehr reines Silber in einem irdenen Tiegel. Sobald der Tiegel sehr heftig glüht, bedecke man diesen und werfe nach und nach Salpeter hinein, der sich zersetzt und den Tiegel mit einer Atmosphäre von Sauerstoff erfüllt. Dann lasse man den bedeckten Tiegel eine halbe Stunde lang noch heftig glühen und tauche diesen dann schnell in kaltes Wasser, und fange das entweichende Gas in einer mit Wasser gefüllten Glocke auf. Ganz reines Silber vermag bis zu 22 Mal seines Volumens Sauerstoff zu absorbiren; durch fremde Metalle aber wird diese Fähigkeit sehr beeinträchtigt, so daß man hieran erkennen kann, ob das Silber gehörig fein (rein) ist oder nicht. Nach Chevillot wirken schon 15 bis 20 Tausendtheile Kupfer der Art, daß das Silber keinen Sauerstoff mehr absorbirt. Man kann das Entweichen des Sauerstoffs beim Erkalten des Silbers verhindern, wenn man auf die Oberfläche des schmelzenden Silbers Substanzen, z. B. Kohle, streut, die sich mit dem Sauerstoff leicht verbinden. Nach Levol wird der Sauerstoff aus dem geschmolzenen Silber plötzlich ausgetrieben, sobald man Gold hinzusetzt; die flüssige Masse fängt förmlich an zu sieden und schäumt dabei bis zum dreifachen Volumen auf **).

Aehnlich wie gegen Sauerstoff verhält sich das schmelzende Silber nach der Angabe von Pelletier ***) auch gegen Phosphor. Das Silber soll 10, 15, ja selbst 30 Proc. davon aufnehmen; im Augenblick des Erstarrens scheidet sich der Phosphor zum Theil wieder ab und verbrennt mit großer Lebhaftigkeit.

Bei Gegenwart von kaustischen und salpetersauren Alkalien oxydirt sich das Silber selbst in der Hitze nicht. Deshalb bedient sich der Chemiker in diesen Fällen stets der silbernen Tiegel, da solche aus Platin dabei stark angegriffen werden. Dagegen aber wird das Silber durch schmelzende Silicate angegriffen; es bildet sich Silberoxyd, das sich in den Silicaten auflöst und diese gelb färbt. Deshalb benutzt man das Silber, um dem Glase an seiner Oberfläche eine gelbe Farbe zu geben. Diese Farbe theilt sich dem Glase ohne alle Mitwirkung eines Flusses mit, indem das Silberoxyd oder irgend ein Silbersalz durch bloße Berührung wirkt. Die Farbe variirt von Citronengelb oder Grünlichgelb bis zu Orange je nach der Menge des Silbers und nach der Natur des Glases; selbst Roth kann man dadurch erzielen. Man darf jedoch beim Einbrennen des Silbers die Muffel nicht zu hoch erhitzen, da sonst die Oberfläche opalescirend wird. Wenn man zu Flintglas Silber setzt und den Satz so schnell als möglich schmilzt, so erhält man eine halbopake, achatartige Masse, die bei einem ungleichen Abkühlen alle Farben des Spectrums zeigt.

Die Salzsäure wird durch Silber nur in einem geringen Maße zersetzt; dies

---

*) Annal. de Chim. et de Phys. 1819. T. XII. pag. 402. Schweigg. Journ. Bd. LIII. S. 187.

**) Compt. rend. T. XXXV. pag. 63.

***) Annal. de Chim. T. XIII. pag. 104. Crell's chem. Annal. 1796. Bd. II. S. 151.

findet nur in der Siedhitze statt, wenn das Metall sehr fein zertheilt ist. Es bildet sich Chlorsilber und Wasserstoff entweicht. Die wässerige Jodwasserstoffsäure wirkt nach Deville *) mit Heftigkeit auf das Silber ein, wobei sich Wasserstoffgas entwickelt. In der Kälte hört die Einwirkung auf, wenn die Flüssigkeit mit Jodsilber gesättigt ist. Bei dem Erhitzen beginnt sie wieder und beim Erkalten erhält man dann ein in großen farblosen Blättern krystallisirendes Salz, welches sich nicht, ohne daß es zersetzt würde, von der es benetzenden Flüssigkeit befreien läßt. Deville hält dasselbe für eine Verbindung von Jodwasserstoff mit Jodsilber. Die Flüssigkeit, aus der sich diese Krystalle abscheiden, giebt beim Stehen an der Luft ziemlich dicke hexagonale Prismen von Jodsilber, die in Form und Zusammensetzung mit dem in Chili natürlich vorkommenden Jodsilber übereinstimmen. Durch verdünnte Schwefelsäure wird das Silber nicht angegriffen, aber leicht durch concentrirte Säure in der Wärme. Es entwickelt sich schweflige Säure, indem sich schwefelsaures Silberoxyd bildet. Durch Salpetersäure wird das Silber schon bei gewöhnlicher Temperatur aufgelöst, wobei Stickstoffoxydgas entweicht. Die übrigen Säuren wirken wenig oder nicht auf metallisches Silber. Sehr empfindlich ist das Silber gegen Schwefelwasserstoff, Chlor, Brom und Jod.

Chemisch reines Silber muß sich in Salpetersäure leicht und vollständig auflösen und die Auflösung meist ganz wasserhell sein. Ist das Silber durch Salzsäure vollständig herausgefällt, so kann man die fremden Metalle leicht in dem Filtrat entdecken. Ein rother Niederschlag durch Blutlaugensalz deutet Kupfer an und ein weißer durch Schwefelsäure Blei.

Von den Verbindungen des Silbers mit Sauerstoff kennt man drei: das Suboxyd oder Oxydul ($Ag^2 O$), das Oxyd ($Ag O$) und das Superoxyd ($Ag O^2$). Die erste Verbindung ist sehr wenig beständig und zerfällt leicht in Oxyd und Metall. Erhitzt man Silberoxydsalze der organischen Säuren, z. B. citronensaures Silberoxyd, auf 100° C. und läßt man dann Wasserstoffgas darüber hingehen, so verliert das Silberoxyd die Hälfte seines Sauerstoffs. Eine neue Bildungsweise des Silberoxyduls hat Wöhler angegeben **).

Wird das gelbe arsenigsaure Silberoxyd mit concentrirter Natronlauge übergossen und erwärmt, so wird es rasch schwarz. Wenn man nicht längere Zeit sieden läßt und das schwarze Pulver wiederholt mit neuer Lauge behandelt, so ist es arsenikhaltig. Das gut ausgewaschene schwarze Pulver hat nach dem Trocknen einen Schein ins Graue und nimmt unter dem Polirstahl einen dunkeln Metallglanz an. Das schwarze Pulver ist ein Gemenge von Silber und Silberoxydul im Verhältniß gleicher Aequivalente und wird dadurch gebildet, daß von 1 Aeq. ($3Ag O$) $As^2 O^3$ $^2/_3$ des Sauerstoffs vom Silberoxyd die arsenige Säure in Arseniksäure verwandelten: $Ag^2 O + Ag + As^2 O^5$. Beim Erhitzen für sich verliert das schwarze Pulver den Sauerstoff und wird dadurch zu grauweißem metallischen Silber.

Viel wichtiger ist das Silberoxyd ($Ag O$). Als Hydrat erhält man diese Verbindung, wenn man in eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd Kali im Ueberschuß gießt. Der Niederschlag ist graubraun; er verliert das Wasser sehr leicht

---

*) Compt. rend. T. XLII. pag. 894.
**) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. CI. S. 363.

unter dem Recipienten der Luftpumpe oder bei einer mäßigen Wärme und dabei ändert sich die Farbe in olivengrün um. Bei einer Temperatur von 100° zerfällt das Oxyd in Sauerstoff und Metall; selbst bei gewöhnlicher Temperatur findet diese Zersetzung unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen statt. Ebenso wird es durch die meisten Metalloide zersetzt. Es löst sich in geringen Mengen in Wasser auf; nach Bineau sind dazu 3000 Th. Wasser erforderlich. Die Lösung zersetzt sowohl die Haloidsalze, wie auch die Phosphate und reagirt auf Pflanzenfarben alkalisch. Das Silberoxyd ist eine sehr starke Base, die sich selbst mit den schwächsten Säuren verbindet und sogar die stärksten Säuren vollständig neutralisirt.

Das Silberoxyd bildet mit dem Ammoniak eine sehr gefährliche Verbindung, das Silberoxyd-Ammoniak oder das sogenannte Berthollet'sche Knallsilber. Die Darstellung dieser Verbindung lehrte zuerst Berthollet im Jahr 1788. Man erhält sie, wenn man Silberoxyd mit einer concentrirten Aetzammoniakflüssigkeit digerirt oder wenn man salpetersaures Silberoxyd in Ammoniak auflöst und zu der Lösung vorsichtig Kali setzt, wobei sich ein schwarzer Niederschlag bildet, über dessen chemische Zusammensetzung man sich noch nicht geeinigt hat. Nach Einigen verbindet sich das Ammoniak direct mit dem Silberoxyd, daher die Formel AgO, NH^3; nach Einigen ist es eine Amidverbindung des Silbers, so daß sich gleichzeitig Wasser bildet ($AgO + NH^3 = AgNH^2 + HO$) und endlich wiederum nach Anderen verbindet sich das Silber einfach mit dem Stickstoff ($3AgO + NH^3 = Ag^3N + 3HO$). Diese Verbindung explodirt, sobald sie trocken ist, beim geringsten Druck, selbst wenn man sie nur mit dem Barte einer Feder berührt, sehr heftig, sogar unter Wasser, sobald es auf 100° erwärmt wird. Sie ist daher sehr gefährlich und darf nur mit der größten Vorsicht gehandhabt werden.

Man hat vorgeschlagen, das Silberoxyd innerlich und äußerlich statt der Silbersalze anzuwenden. In diesem Falle muß man bei der Bereitung des Oxydes eine jede Beimischung und Einwirkung von Ammoniak sorgfältig vermeiden, weil sonst sehr leicht Knallsilber entsteht. In London ist es vorgekommen, daß beim Umstoßen einer Pillenmasse, die Silberoxyd enthielt, eine Explosion stattfand.

Die vorstehende Verbindung ist nicht zu verwechseln mit dem später (1800) von Howard und Brugnatelli entdeckten Knallsilber. 1824 erkannte Liebig in Gemeinschaft mit Gay-Lussac durch eine gefahrvolle Untersuchung, daß letztere Verbindung eine eigenthümliche Säure enthalte von genau derselben Zusammensetzung, die Wöhler kurz vorher für die Cyansäure ermittelt hatte. Liebig nannte diese neue Säure Knallsäure; sie wird aber auch Percyan- oder Fulminansäure genannt. Das knallsaure Silberoxyd erhält man, wenn man 1 Th. Silber in 12 Th. reiner Salpetersäure von 1,36 spec. Gew. auflöst, hierauf die Lösung mit 27 Th. Weingeist von 0,85 spec. Gew. mischt, zum Kochen erhitzt und die Flüssigkeit, sobald sie sich zu trüben anfängt, vom Feuer entfernt und durch kleine Portionen Weingeist abkühlt, so daß man nach und nach dieselbe Menge Weingeist wie anfangs hinzusetzt. Der Niederschlag wird später abfiltrirt, ausgewaschen und mit großer Vorsicht aufbewahrt.

Das knallsaure Silberoxyd krystallisirt in farblosen, sehr glänzenden Nadeln, die oft schon bei der geringsten Reibung mit furchtbarer Gewalt explodiren. $^1/_4$ Gran auf glühende Kohlen geworfen, detonirt mit so heftigem Knall wie ein

Pistolenschuß. Es explodirt auch bei Berührung mit concentrirter Schwefelsäure. An der Luft und im Licht verändert es sich sehr schnell, indem es sich mit der Zeit schwarz färbt. In kaltem Wasser ist es schwer, leichter in kochendem (36 Th.) auflöslich; kaustische Alkalien scheiden daraus die Hälfte Silber als Oxyd aus, ebenso viel auch die Chlormetalle als Chlorsilber. Durch Schwefelwasserstoff wird es in Schwefelsilber, Schwefelblausäure und Kupfer zerlegt. Es wirkt äußerst giftig, so daß schon der Tod nach ganz kleinen Gaben unter heftigen Krämpfen erfolgt. Unter allen Umständen sind daher die daraus gefertigten Knallfidibusse, Knallerbsen und Knallbonbons höchst gefährliche Spielzeuge.

Das Silbersuperoxyd (AgO^2) erhält man in langen, schwarzen, metallglänzenden Nadeln, wenn man eine verdünnte Lösung von salpetersaurem Silberoxyd durch den galvanischen Strom zersetzt; es scheidet sich am positiven Pol ab. Diese Verbindung ist allerdings beständiger als das Oxyd, indem sie bei 100° sich nicht zersetzt; aber bei 150° geht der Sauerstoff fort. Bringt man das Superoxyd mit Säuren zusammen, so entwickelt sich Sauerstoff und es bilden sich Oxydsalze; mit Salzsäure entwickelt sich Chlor. Durch Ammoniak wird es gleichfalls unter Aufbrausen zersetzt; der überschüssige Sauerstoff verbindet sich mit dem Wasserstoff des Ammoniaks zu Wasser und der Stickstoff entweicht. Wendet man bei dieser Zersetzung einen kleinen Ueberschuß von Ammoniak an, so erhält man nach Böttger eine wasserhelle Flüssigkeit, so zu sagen flüssiges Knallsilber. Erhitzt man diese in einem flachen Eisenschälchen allmälig, bis sie gänzlich verdampft ist, so erfolgt eine bei Anwendung von circa 4 bis 6 Gran Superoxyd völlig gefahrlose Explosion. Mit Phosphor oder Schwefel gemengt und dann geschlagen, verpufft das Silbersuperoxyd lebhaft. — Das auf vorstehendem Wege bereitete Superoxyd enthält stets salpetersaures Silberoxyd. Reines Superoxyd erhält man nach Schönbein*), wenn man Ozon über fein zertheiltes metallisches Silber leitet oder wenn man Silberblech mittelst Platindraht in stark ozonisirter Luft aufhängt.

Das Silberoxyd bildet mit den Säuren eine sehr beträchtliche Zahl von Salzen, die alle farblos sind, wenn nicht die Säure selbst gefärbt ist. Sie sind zum Theil in Wasser löslich und zwar ohne Zersetzung, zum Theil unlöslich. Die ersteren erhält man durch Auflösen des kohlensauren Silberoxydes in Säuren; die letzteren durch Zersetzung einer Auflösung des salpetersauren Silberoxydes. Die löslichen Salze besitzen einen unangenehmen metallischen Geschmack und wirken sehr giftig. Alle Silbersalze werden am Lichte geschwärzt; sie zersetzen sich und es scheidet sich dabei metallisches Silber aus.

Die löslichen Silbersalze besitzen folgende charakteristische Kennzeichen. Mit Kali und Natron geben sie einen graubraunen Niederschlag (Silberoxydhydrat), der sich in einem Ueberschuß des Fällungsmittels nicht wieder auflöst. Ammoniak bewirkt in neutralen Lösungen einen ähnlichen Niederschlag, der sich bei weiterem Zusatz aber wieder auflöst. Kohlensaure Alkalien geben einen weißen Niederschlag (kohlensaures Silberoxyd), der sich leicht in Salpetersäure und Ammoniak auflöst; chromsaures Kali einen purpurrothen, gewöhnlich phosphorsaure und arsenigsaure Alkalien einen gelben und arseniksaure Alkalien einen braunrothen Niederschlag. Schwefelwasserstoff bewirkt einen schwarzen Niederschlag, eben so Schwefelammonium.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLI. S. 121.

Durch eine große Anzahl von Metallen wird das Silber aus seinen Auflösungen metallisch gefällt; besonders durch Eisen, Zink und Kupfer. Desgleichen auch durch Quecksilber, aber der Silberniederschlag verbindet sich mit dem Quecksilber, so daß ein festes Amalgam entsteht. Dasselbe gruppirt sich in langen glänzenden Nadeln durch die ganze Auflösung und bildet den sogenannten Dianenbaum. Um diesen darzustellen, legt man in eine Auflösung von salpetersaurem Silber Quecksilber, das bereits Silber in sich aufgenommen hat. Auch durch eine Menge von anderen Substanzen werden die Silbersalze reducirt, z. B. durch Phosphor, Kohle, Zinnoxydulsalze, Ameisensäure, Pflanzenextracte, Aether, ätherische Oele 2c.

Unter den Silbersalzen führen wir an: das salpetersaure Silberoxyd (Silbersalpeter, AgO, NO^5). Man bereitet es gewöhnlich aus kupferhaltigem Silber (Münzen 2c.). Um das Kupfer abzuscheiden, dampft man die Lösung zur Trockne ein und erhitzt den Rückstand ziemlich stark, um das salpetersaure Kupfer in Kupferoxyd zu verwandeln, wodurch die Masse schwarz gefärbt wird. Daß die Zersetzung vollständig geschehen ist, erkennt man, wenn man eine Probe in Wasser auflöst und Aetzammoniak hinzufügt; entsteht keine blaue Färbung, so ist kein salpetersaures Kupferoxyd mehr vorhanden. Man zieht dann die Masse mit Wasser aus, filtrirt, um das Kupferoxyd abzuscheiden, und läßt das salpetersaure Silberoxyd krystallisiren. Oder man fällt das Kupferoxyd durch Silberoxyd aus. Dann dampft man die ursprüngliche Lösung zur Trockne ein, um die überschüssige Säure zu entfernen. Den Rückstand löst man in Kupfer auf und nimmt von der Flüssigkeit ungefähr ein Fünftel ab. Zu diesem setzt man Kali im Ueberschuß und fällt dadurch das Silber- und Kupferoxyd vollständig heraus. Den ausgewaschenen Niederschlag erhitzt man mit dem größeren Reste der Flüssigkeit; das Silberoxyd fällt dann das Kupferoxyd vollständig aus.

Das Salz krystallisirt in farblosen Tafeln, die sich leicht in Wasser auflösen. In der Kälte ist das gleiche Gewicht Wasser erforderlich, von kochendem nur die Hälfte; auch in 4 Th. kochendem Alkohol ist es auflöslich. Bei gelinder Hitze schmilzt es, ohne sich zu zersetzen. Wird es dann in Form von Stengelchen gegossen, so bildet es den bekannten Höllenstein (Lapis infernalis), der als Aetzmittel in der Chirurgie gebraucht wird. In der Rothgluth zersetzt sich das salpetersaure Silberoxyd; anfangs geht nur Sauerstoff aus der Salpetersäure fort, mit der Zeit aber entweicht mit dem Sauerstoff auch Stickstoff, so daß zuletzt metallisches Silber zurückbleibt. Das Salz wird auch innerlich als Medicament gebraucht. Da sich der Silbersalpeter namentlich bei Gegenwart organischer Stoffe unter dem Einfluß des Lichtes sehr leicht zersetzt, so färbt sich die Haut von Personen, die solchen eingenommen haben, mitunter stellenweise schwarz. Um dies zu verhindern, schlägt Delioux zum medicinischen Gebrauch eine Auflösung von Jodsilberkalium in eiweißhaltigem Wasser vor *). Diese Auflösung kann an der Luft und dem Lichte stehen, ohne sich zu verändern. Bringt man die Auflösung äußerlich auf die Haut, so wird diese anfangs braun, bald aber schwarz gefärbt. Diese Flecken kann man beseitigen, wenn man sie zuerst mit Jodtinctur, dann mit Kalilauge überstreicht und dann mit Wasser abwischt. Man benutzt den Silbersalpeter zum Färben der Haare und zum Zeichnen der Wäsche. Zuerst tränkt man die Stelle, welche beschrieben

*) Compt. rend. T. XXXI. pag. 777.

werden soll, mit einer Auflösung von kohlensaurem Natron und nachdem sie getrocknet, beschreibt man sie mit der Silberlösung. Es bildet sich kohlensaures Silberoxyd, das bald durch das Licht geschwärzt wird. Zu ähnlichen Zwecken haben schon die alten Aegypter das salpetersaure Silberoxyd benutzt. Herapath fand*) auf dem Linnen, worin eine Mumie eingeschlagen war, Hieroglyphen, die ganz das Ansehen hatten, als wären sie mit einer Lösung des salpetersauren Silberoxydes geschrieben. Die Untersuchung wies in der That Silber darin nach. Man nennt eine solche Auflösung unauslöschliche Tinte; dieser Name ist nicht ganz richtig. Allerdings widersteht die Schrift dem Waschen und verschwindet nur mit dem Zeuge selbst, aber chemischen Mitteln widersteht sie, wie wir gesehen haben, nicht. Leitet man über solche Schriftzüge Wasserstoffgas, so entsteht metallisches Silber; die Schriftzüge nehmen also einen Metallglanz an. Man hat dies benutzen wollen, um Stoffe mit Zeichnungen in Silber zu versehen, doch haben diese Versuche wenig Erfolg gehabt.

Das salpetersaure Silberoxyd absorbirt trocknes Ammoniakgas und verbindet sich damit ($Ag\,O,\,NO^3 + 3\,NH^3$). Durch Wärme aber wird das Ammoniakgas vollständig wieder ausgetrieben. Löst man das salpetersaure Silberoxyd in einem Ueberschuß von Aetzammoniak auf, so erhält man beim Abdampfen Krystalle ($Ag\,O,\,NO^5 + 2\,NH^3$).

Das schwefelsaure Silberoxyd ($Ag\,O,\,SO^3$) erhält man außer durch Auflösen von Silber in concentrirter Schwefelsäure auch durch Fällen einer concentrirten Lösung des salpetersauren Silberoxyds mittelst einer concentrirten Lösung von schwefelsaurem Kalk oder Natron in kleinen, glänzenden, rhombischen Krystallen. Es ist im Wasser (88 Th. heißem) schwer löslich, leicht aber in Aetzammoniak und hier entsteht eine ähnliche Verbindung wie beim Silbersalpeter. Auf dem Verhalten des Silbers gegen Schwefelsäure beruht die Scheidung des Goldes vom Silber durch die Affinirung.

Das Silberoxyd hat eine so große Verwandtschaft zur unterschwefligen Säure, daß es diese den Alkalien entzieht. Digerirt man daher Silberoxyd mit einer Auflösung von unterschwefligsaurem Natron, so wird ersteres in beträchtlichen Mengen aufgelöst und beim Abdampfen erhält man Krystalle eines Doppelsalzes von unterschwefligsaurem Natron und Silberoxyd. Aehnliche Doppelverbindungen erhält man auch mit Jod, Brom- und Chlorsilber. Diese Löslichkeit der genannten Verbindungen in einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron benutzt man in der Photographie, um die Bilder zu fixiren, d. h. man entfernt dadurch diejenigen Theile der genannten Verbindungen, die durch das Licht nicht zersetzt worden sind. Kocht man die Lösungen der genannten Doppelverbindungen, so scheidet sich Schwefelsilber aus und in der Lösung findet sich schwefelsaures Natron. Für sich ist das unterschwefligsaure Natron sehr wenig beständig. Man erhält es durch Zersetzung des salpetersauren Silberoxydes, aber der Niederschlag schwärzt sich sehr bald am Lichte, indem sich Schwefelsilber bildet.

Die übrigen Silbersalze sind von geringem Interesse; eben so auch die große Zahl derselben mit organischen Säuren. Wie Chenevix das phosphorsaure Silberoxyd bei der Bereitung der chlorsauren Baryterde angewandt hat, um diese von

*) Phil. Mag. 1852. Vol. III. pag. 528.

dem Chlorbaryum zu trennen, hat Lassaigne vorgeschlagen *), dasselbe Salz in der analytischen Chemie zu benutzen, um 1) bei der Untersuchung von Brunnen und Mineralwässern gewisse salpetersaure Salze von den alkalischen und erdigen Chlorüren zu trennen, und 2) um Roh- und Traubenzucker vom Chlornatrium abzuscheiden, mit dem sie in gewissen Pflanzenproducten zusammen vorkommen.

Mit dem Schwefel verbindet sich das Silber, wenn man ein Gemenge beider erhitzt. Der überschüssige Schwefel verflüchtigt sich; wenn man bis zur Rothgluth erhitzt, schmilzt das Schwefelsilber und erstarrt zu einer krystallinischen Masse. Diese Verbindung (Ag S) entspricht dem Oxyd; sie findet sich krystallisirt in der Natur. Das natürliche Schwefelsilber ist schwarzgrau und besitzt einen Metallglanz. Spec. Gew. = 7,2. Es ist isomorph mit dem natürlichen Schwefelkupfer (Cu 2S); beide scheinen sich in den Fahlerzen in jedem Verhältniß ersetzen zu können. Da nun der Isomorphismus auch eine ähnliche chemische Zusammensetzung bedingt, so sind mehrere Chemiker geneigt, das Aequivalent des Silbers zu halbiren und dann wären die Formeln des Schwefelkupfers (Cu 2S) und des Schwefelsilbers (Ag 2S) übereinstimmend. Dafür sprechen noch verschiedene andere Gründe. So findet z. B. zwischen der specifischen Wärme der einfachen Körper und den chemischen Aequivalenten derselben eine sehr einfache Beziehung statt, die sich beim Silber nur herausstellt, wenn man das Atomgewicht halbirt. Aehnliches gilt auch für die Verbindungen der einfachen Körper; und dieser Anforderung entspricht das Schwefelsilber nur dann, wenn man ihm die Formel Ag 2S giebt. — Nach Becquerel **) kann man durch schwache elektrische Ströme Krystalle von Schwefelsilber erhalten, die den in der Natur vorkommenden ganz ähnlich sind. Das Schwefelsilber besitzt eine gewisse Hämmerbarkeit; es besitzt aber so wenig Härte, daß es durch den Fingernagel geritzt wird. Beim Schmelzen absorbirt es leicht Sauerstoff. Von concentrirter kochender Salzsäure wird das Schwefelsilber angegriffen; es entwickelt sich Schwefelwasserstoffgas und es bildet sich Chlorsilber. Durch concentrirte Schwefelsäure wird es in der Wärme sehr leicht in schwefelsaures Silberoxyd umgewandelt; eben so durch Salpetersäure. Durch Kochsalz, Kupferchlorid und durch einige andere Chlormetalle wird das Schwefelsilber beim Erwärmen in Chlorsilber verwandelt. Durch Eisen wird es reducirt. — Von gleicher Zusammensetzung erhält man das Schwefelsilber auch auf nassem Wege, wenn man die Auflösung eines Silbersalzes mit Schwefelwasserstoff oder Schwefelammonium fällt. Wegen dieser großen Verwandtschaft des Silbers zum Schwefel schwärzen sich z. B. silberne Löffel, wenn sie mit Speisen in Berührung kommen, welche, wie z. B. Eier und Fische, besonders wenn sie nicht ganz frisch sind, Schwefelwasserstoff entwickeln. Das Schwefelsilber verbindet sich mit einer großen Zahl von Schwefelmetallen. Von diesen Verbindungen, in denen das Schwefelsilber sich als Base verhält, findet man mehrere, wie wir bereits angeführt haben, in der Natur krystallisirt.

Mit Chlor existirt gleichfalls nur eine Verbindung des Silbers, die auch dem Oxyd entspricht (Ag Cl). Auf nassem Wege dargestellt erscheint es in weißen Flocken, die bei einer Temperatur von 260° schmelzen und beim Erkalten zu einer

*) Compt. rend. T. XXIX. pag. 183.
**) Schweigg. Journ. Bd. LVIII. S. 443.

grauen, halb durchscheinenden Masse erstarren, die sich wie Horn schneiden läßt. Daher stammt auch der Name Hornsilber. Das Chlorsilber ist beinahe vollständig unlöslich in Wasser und verdünnter Salpetersäure, nicht so unlöslich in Salzsäure und in Lösungen der Chloralkalien, besonders in der Siedhitze. Beim Erkalten der ersteren scheidet es sich in kleinen Oktaëdern aus. Leicht löslich ist es dagegen in Ammoniak und in unterschwefligsaurem Natron; in bedeutender Menge löst es sich auch in einer warmen Quecksilberoxydlösung. Aus der Auflösung in Ammoniak schießt das Chlorsilber gleichfalls in Oktaëdern an, wenn das Ammoniak nach und nach verflogen ist. Sättigt man das Ammoniak mit Salpetersäure, so scheidet sich das Chlorsilber wieder in Flocken aus. In der Rothgluth ist das Chlorsilber in geringem Maße flüchtig. Die weiße Farbe des Chlorsilbers schwärzt sich unter dem Einfluß des Lichtes sehr bald. Ist das Chlorür in Wasser suspendirt, so entweicht Sauerstoff und es bildet sich Salzsäure. Aus dem trocknen Chlorsilber entweicht Chlor und es scheidet sich metallisches Silber aus. Diese Zersetzung findet auch bei dem in der Natur vorkommenden Hornsilber statt, da dieses häufig mit metallischem Silber zusammen gefunden wird. Bei gewöhnlicher Temperatur nimmt das Chlorsilber eine bedeutende Menge Ammoniakgas auf und verbindet sich damit ($AgCl + 3NH^3$). Das Ammoniak ist nur lose gebunden, da es beim Erhitzen entweicht. Diese Verbindung kann dazu dienen, um flüssiges Ammoniak darzustellen.

Da das Chlorsilber in bedeutenden Mengen in den chemischen Laboratorien gewonnen wird, so dient es in der Regel zur Darstellung des chemisch reinen Silbers. Man verwendet es auch zur Versilberung auf kaltem Wege. Auf den zu versilbernden Gegenständen verreibt man ein Gemenge von 1 Th. Chlorsilber, 2 Th. kohlensaurem Kali, $^2/_3$ Th. Kreide und 1 Th. Kochsalz mittelst eines feuchten Korkes. — Nach Gericke *) wird durch die Anwendung des Chlorsilbers in der qualitativen Untersuchung mittelst des Löthrohrs die Flammenfärbung nicht nur gesteigert, sondern auch anhaltender hervorgerufen und so zur genaueren Unterscheidung der zu untersuchenden Substanzen geeigneter gemacht. Mit Brom und Jod bildet das Silber ähnliche Verbindungen, die auch in ihren Eigenschaften dem Chlorsilber ähnlich sind. Das Bromsilber ist sehr schwach gelb gefärbt und in Ammoniak schwerer löslich als das Chlorsilber; das Jodsilber ist eben so gefärbt wie jenes, jedoch in Ammoniak nur sehr schwer löslich, wodurch es sich leicht vom Brom- und Chlorsilber unterscheidet. 1 Th. Jodsilber braucht zu seiner Auflösung 2500 Th. Aetzammoniak. Das Jodsilber schwärzt sich weniger schnell durch das Licht als das Chlorsilber. Durch Chlor wird das Bromsilber in Jodsilber verwandelt und aus dem Jodsilber wird dadurch Jod abgeschieden. — Die Eigenschaft dieser drei Verbindungen, durch das Licht zerlegt zu werden, hat man in der Photographie zur Fixirung der Bilder benutzt.

Mit dem Phosphor verbindet sich das Silber beim Schmelzen leicht zu Phosphorsilber. Dies ist eine weiße, weiche, spröde, krystallinische Masse. Leitet man Phosphorwasserstoff in die Lösung eines Silberoxydsalzes, so erhält man diese Verbindung ebenfalls als ein grauabfärbendes Pulver, das durch den Druck Metallglanz annimmt.

Cyansilber ($AgCy$ oder AgC^2N) erhält man, wenn man in die Lösung von salpetersaurem Silberoxyd Cyanwasserstoffsäure tröpfelt, als einen weißen Nieder-

*) Chem. Centralbl. 1855. S. 195.

schlag, der in Wasser und verdünnter Salpetersäure unlöslich ist. In Ammoniak löst er sich leicht, ebenso in den Cyanalkalien, indem sich Doppelsalze bilden. Durch Salzsäure wird das Cyansilber in Chlorsilber verwandelt.

Die Doppelverbindung von Cyansilber mit Cyankalium hat dadurch eine große Bedeutung erlangt, daß sie allgemein bei der galvanischen Versilberung benutzt wird. Letztere ist bereits in dem Art. Galvanoplastik (Bd. III. S. 400) abgehandelt. Wir haben hier nur die dort gleichfalls mitgetheilte Literatur zu vervollständigen *).

In neuerer Zeit sucht man vielfach die gewöhnliche Spiegelbelegung durch Versilberung des Glases zu ersetzen. Als Vortheile der letzteren giebt man an: die Erzielung einer vollkommen spiegelnden Glasfläche, die Möglichkeit, Fehler derselben leicht zu verbessern, die Sicherheit der Operation, die einfach und schnell ausführbar ist und hauptsächlich aber die Vermeidung der Anwendung des der Gesundheit schädlichen Quecksilbers. Da die Schicht Silber auf dem Glase nur sehr dünn ist, so fallen die Kosten dieses Ueberzuges nicht sehr ins Gewicht. Auch Liebig hat sich auf den Wunsch von Steinheil hiermit beschäftigt, um ein Verfahren zum Versilbern von Glas in der Kälte aufzufinden behufs der Darstellung fehlerfreier optischer Spiegel **). Vor ihm hatte schon Böttger sehr schöne Resultate erzielt, dessen Verfahren ist aber nicht bekannt. Dagegen hat Luroc sehr bald eine Methode mitgetheilt ***), nach der sich sehr befriedigende Resultate weit billiger erreichen ließen als nach der von Liebig angegebenen. Man löst 50 Th. (Grm.) Traubenzucker in 5000 Cubikcentim. destillirtem Wasser auf und thut dann 20 Th. frisch gebrannten, möglichst reinen Aetzkalk hinzu, dessen Auflösung man durch Schütteln oder gelindes Erwärmen beschleunigt. Dann filtrirt man bei Ausschluß der Luft und bewahrt die Flüssigkeit in einer gut verschlossenen Flasche auf. Andererseits löst man 7 Th. Höllenstein in 150 bis 160 Th. destillirtem Wasser auf und versetzt die Lösung tropfenweise mit Ammoniak, bis das entstandene Silberoxyd wieder aufgelöst ist. Freies Ammoniak verzögert die Ablagerung des Silberspiegels sehr oder verhindert sie auch ganz, deshalb beseitigt man dasselbe durch einige Tropfen einer neutralen salpetersauren Silberoxydlösung. Will man nun den Silberspiegel erzeugen, so reinigt man erst das Glas sorgfältig mit mäßig concentrirter Lauge und wischt dann jede Spur derselben mit Wasser fort. Dann bringt man das Glas in vollständige Berührung mit der Silberlösung und fügt nun zu letzterer 6 Volum. der Traubenzuckerkalklösung. Ist der Silberspiegel zu dunkel, d. h. zu dünn ausgefallen, so kann man, unbeschadet der Reinheit des schon erzeugten Ueberzuges, von der einen oder anderen Flüssigkeit zusetzen und die Operation so lange fortsetzen, bis der Ueberzug den gewünschten hellen Glanz erlangt hat.

Diese Methode hat vor der Anwendung der Aetzalkalien, wie sie Liebig

---

*) Hoffauer über Versilbern, Vergolden, Bronziren und Verkupfern des Zinks, Zinns, Bleies, Eisens und Stahls, Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 118. Watt über galvanische Vergoldung, Versilberung rc. ebend. S. 372. Abrielle, Composition zum Versilbern metallener Artikel, Bd. CXLI. S. 313. Landrin, kalte Vergoldung, Versilberung und Verplatinirung der Metalle, Bd. CXLII. S. 157.

**) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVIII. S. 130.

***) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXL. S. 204.

vorschreibt, außer der Billigkeit noch den Vorzug, daß die Silberablagerung schon kurz nach ihrer Bildung eine hinlängliche Adhäsion zum Glase erlangt hat, und weniger leicht zu befürchten ist den Spiegel im noch feuchten Zustande beim Reinigen mit destillirtem Wasser zu verletzen. — Diese Metalle können gleichfalls zur Verzierung von Glasgefäßen benutzt werden. Andere Methoden sind noch von Hill *) und Petitjean **) angegeben.

Mit dem Kohlenstoff verbindet sich das Silber, wenn man einige Salze mit organischen Säuren durch Erhitzen zersetzt. Man hat davon zwei Verbindungen erhalten (AgC und AgC^2). Erhitzt man diese an der Luft, so verbrennt die Kohle und metallisches Silber bleibt zurück.

Unter den Legirungen des Silbers ist die mit Kupfer die wichtigste. Da das reine Silber zu weich ist, so verarbeitet man es in der Regel mit Kupfer versetzt, wodurch es eine größere Härte erlangt und bedeutend weniger der Abnutzung ausgesetzt ist. Die Farbe des Silbers wird durch diese Beimischung nicht verändert; sie bleibt noch weiß, selbst bei einem Gehalt von $^1/_8$ Kupfer, doch ist sie weniger schön als die des reinen Silbers. Deshalb sucht man bei den aus Silber gefertigten Luxusgegenständen durch das sogenannte Weißsieden an der Oberfläche eine dünne Schicht von reinem Silber hervorzurufen. Man erhitzt daher das verarbeitete Silber bis zur Rothgluth und oxydirt so das Kupfer an der Oberfläche, dann taucht man es unmittelbar in Wasser, das durch Schwefelsäure angesäuert ist, und entfernt dadurch das Kupfer. Die Oberfläche von reinem Silber ist nun nothwendig matt, da die einzelnen Silbertheilchen durch die Entfernung des Kupfers von einander getrennt sind. Der Glanz läßt sich sehr leicht durch Poliren hervorrufen.

Diese Legirungen fertigt man in Deutschland nach Loth und Grän an. Eine feine Mark hat 16 Loth Feinsilber (reines Silber). Eine rauhe oder beschickte Mark nennt man eine solche, die neben dem Silber Kupfer enthält. Das Verhältniß beider Metalle wird gleichfalls durch die Benennung ausgedrückt; 12 löthiges Silber z. B. enthält in der Mark 12 Loth Silber und 4 Loth Kupfer. In Frankreich hat man dafür eine andere Bezeichnung gewählt. Man deutet den Feingehalt der Legirungen durch Tausendtheile an. Feinsilber wird also mit $^{1000}/_{1000}$ bezeichnet; ein Silber mit der Bezeichnung $^{900}/_{1000}$ enthält also 900 Th. Silber und 100 Th. Kupfer. Die Verhältnisse dieser Legirungen sind übrigens in allen Ländern durch besondere Gesetze bestimmt.

Obgleich sich das Silber mit dem Kupfer in allen Verhältnissen zusammenschmelzen läßt, so existirt nach Levol ***) doch nur eine constante Silberkupferlegirung, die nach der Formel $Ag^3 Cu^4$ zusammengesetzt ist und in 1000 Th. aus 719 Th. Silber und 281 Th. Kupfer besteht. Alle anderen Verhältnisse geben keine durchaus gleichartigen Legirungen, denn, wenn diese zusammengeschmolzen werden, trennen sie sich beim Erkalten in ungleich ausfallende Gemische mit mehr oder weniger Kupfer oder Silber.

Man verarbeitet auch viel Kupferblech, das auf der Oberfläche mit Silber

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXL. S. 75.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLI. S. 438.
***) Journ. de Pharm. T. XVII. p. 111.

belegt (plattirt) ist. Man schabt das Kupferblech sorgfältig blank und taucht es dann in eine concentrirte Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd, damit es sich mit einer sehr dünnen Schicht Silber überzieht. Nun legt man ein Silberblech genau von derselben Größe darauf, das nur den 20. Th. des Kupferbleches wiegt, erhitzt das Ganze bis zur Rothgluth und walzt es dann aus, bis das Blech die gewünschte Stärke hat. Beide Metalle haften so fest an einander, daß man sie durch mechanische Mittel nicht trennen kann. Durch die galvanische Versilberung ist das plattirte Blech aber mehr oder weniger außer Gebrauch gekommen.

Außerdem existiren noch einige andere Legirungen, die in der Technik Verwendung finden. Mit Gold legirt wird das Silber vielfach verarbeitet. Uebrigens fallen hier die Legirungen gleichmäßiger aus wie beim Kupfer. Es giebt nach Levol *) wenigstens 4 Legirungen des Silbers mit dem Golde, die als constante Verbindungen anzusehen sind. Die Formeln dafür sind folgende: Au^2, Ag; Au, Ag; Au, Ag^2 und Au, Ag^{10}; in 1000 Th. dieser Legirungen sind demnach 784,6 Th. oder 645,5 Th. oder 476,6 Th. oder 155,6 Th. Gold enthalten. Sogenanntes grünes Gold besteht aus 1 Th. Silber und 2 bis 3 Th. Gold; messinggelbes Gold aus 2 Th. Silber und 1 Th. Gold oder 1 Th. Kupfer, 3 Th. Silber und 4 Th. Gold; das Emaillirloth aus 9 Th. Silber und 37 Th. Gold oder 106 Th. Kupfer, 30 Th. Silber und 288 Th. Gold; graues Gold aus 2 Th. Silber, 30 Th. Gold und 2 Th. Stahl; Gold für Zahnärzte aus 1 Th. Silber, 8 Th. Platin und 3 Th. Gold; Goldloth strengflüssiges aus 8 Th. Kupfer, 9 Th. Silber und 16 Th. Gold; leichtflüssiges aus 42 Th. Kupfer, 10 Th. Zink, 50 Th. Silber und 58 Th. Gold.

Silberschlagloth (hartes) besteht aus 21 Th. Kupfer, 7 Th. Zink und 40 Th. Silber, oder aus 7 Th. Kupfer, 3 Th. Zink und 20 Th. Silber oder aus 80 Th. Kupfer, 30 Th. Zink und 190 Th. Silber; weiches aus 28 Th. Kupfer, 10 Th. Zink und 84 Th. Silber oder aus 64 Th. Kupfer, 30 Th. Zink und 192 Th. Silber. 1 Th. Zink und 4 Th. Silber geben Doppler's Spiegelmetall. 49 Th. Kupfer, 31 Th. Nickel und 20 bis 40 Th. Silber geben eine Legirung, die dem Silber sehr ähnlich ist. — Bei der Untersuchung eines Silbererzes aus Südamerika erhielt Barruel **) eine sehr harte Legirung, aus der man selbst Messerklingen und Feilen hätte fertigen können. Sie bestand in 1000 Th. aus 994 Silber, 3,5 Eisen, 2 Kobalt und 1/2 Nickel. Er stellte diese Legirung auch künstlich her, wobei durch die Abänderung der Mengenverhältnisse die Legirung härter oder weicher dargestellt werden konnte. Sie ist gewiß sehr brauchbar zu Hähnen für gewisse Apparate und zu Medaillen, deren Relief weit dauerhafter sein würde.

Silber und Eisen schmelzen zwar sehr leicht zusammen, doch verbinden sie sich nicht, so daß man in der Legirung, die übrigens leichter rostet als Eisen, beide Metalle erkennt. Stahl nimmt aber eine geringe Menge Silber auf und erlangt durch 1/500 Silber eine vorzügliche Härte und Elasticität. — Vom Quecksilber wird das Silber sehr leicht aufgenommen.

Das Silber erkennt man sehr leicht durch sein Verhalten gegen Salzsäure

*) Ann. de Chim. et de Phys. [3]. T. XXXIX. p. 163.
**) Compt. rend. T. XXV. p. 759.

oder Kochsalzlösung. Setzt man eines dieser Reagentien zu einer Auflösung, die Silber enthält und mit Salpetersäure versetzt worden ist, so entsteht sogleich ein weißer Niederschlag (Chlorsilber), der namentlich beim Erhitzen in käsigen Flocken zusammenballt und sich dann beim Umschütteln leicht absetzt. Sind nur Spuren von Silber vorhanden, so trübt sich die Flüssigkeit wenigstens. Die geringsten Spuren von Silber, die durch Salzsäure nicht mehr angezeigt werden, kann man entdecken, wenn man die Lösung mit ameisensaurem Ammoniak versetzt und erhitzt. Nach einiger Zeit bedeckt sich die innere Wandung der Proberöhre mit einem Spiegel von metallischem Silber.

Die Löslichkeit des Silbers in Salpetersäure und das Verhalten zu Salzsäure macht die quantitative Bestimmung des Silbers und die Trennung desselben von den übrigen Metallen sehr leicht. Nur wenn in der Lösung gleichzeitig noch ein Quecksilberoxydulsalz vorhanden ist, wird das Quecksilber als Quecksilberchlorür ($Hg^2 Cl$) mit gefällt. Letzteres läßt sich jedoch leicht entfernen, wenn man den Niederschlag mit Salpetersäure kocht, einige Tropfen Salzsäure hinzufetzt und so das Quecksilberchlorür in lösliches Chlorid verwandelt. Oder man fällt beide Metalle als Schwefelmetalle, erhitzt den Niederschlag, wobei Schwefel und Quecksilber fortgehen, so daß nur metallisches Silber zurückbleibt.

Die Untersuchung der Silberlegirungen ist mithin mit keinen großen Schwierigkeiten verbunden. Gay-Lussac hat hierbei schon lange die Titrirmethode eingeführt, die sehr beifällig aufgenommen worden ist, da sie sehr genaue Resultate und zwar in sehr kurzer Zeit liefert. Man hält eine titrirte Kochsalzlösung vorräthig, von der 1 Cubikdecim. genau 1 Grm. reinem Silber entspricht. Man löst 1 Grm. der Legirung in 5 oder 6 Grm. Salpetersäure auf und tröpfelt nun vorsichtig aus einer graduirten Burette die Kochsalzlösung hinein, bis ein neuer Tropfen keinen Niederschlag mehr hervorbringt. Durch die verbrauchten Cubikcentim. der Kochsalzlösung erfährt man, ohne Wägung des Chlorsilbers sofort den Silbergehalt der Legirung. Die Gegenwart des Quecksilbers macht auch hier das Resultat unsicher; man erkennt diese aber sehr leicht daran, daß die Flüssigkeit beim Umschütteln den Niederschlag nicht vollständig absetzt, sondern trübe bleibt. Bei einer neuen Probe verhindert man das Niederfallen des Quecksilbers dadurch, daß man der Lösung der Metalle essigsaures Natron zusetzt. Eben so wirken auch Schwefel und Gold störend. Sind diese vorhanden, so wendet man nach Levol *) statt der Salpetersäure concentrirte Schwefelsäure als Auflösungsmittel an und operirt dann mit der Flüssigkeit, die bald nach dem Erkalten vollständig klar wird, auf die gewöhnliche Weise.

Diese Methode hat die ältere Probe auf trocknem Wege fast verdrängt. Man verfuhr sonst, wenn man den Feingehalt der Legirungen bestimmen wollte, ganz so, wie bei der Darstellung im Großen. Man schmolz ein bestimmtes Gewicht der Legirung in einer kleinen aus Knochenerde verfertigten Kapelle mit Blei zusammen und trieb dieses ab. Das Bleioxyd zieht mit dem Kupfer in die Kapelle ein und das Silber bleibt zurück. Man erhält hier aber nie so genaue Resultate wie bei der Gay-Lussac'schen Probe auf nassem Wege; denn einmal ist es sehr schwierig, das Spratzen zu verhindern, und dann verschluckt auch die Kapelle,

*) Ann. de Chim. et de Phys. [3]. T. XLIV. p. 347.

besonders gegen das Ende der Operation Silber. Ueber diese Verluste hat Hambly *) genauere Untersuchungen angestellt.

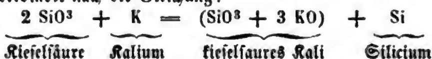
Annähernd erfährt man den Feingehalt einer Legirung auch durch den Probirstein. Man macht auf diesen mit der zu untersuchenden Legirung einen Strich und daneben andere mit der Probirnadel, deren Silbergehalt genau bekannt ist. Aus der Gleichheit der Farbe zweier Striche schließt man dann auf den Feingehalt der Legirung.

1854 belief sich die Gesammtsilberproduction auf 20119,45 Zollcentner, davon kommen auf Rußland 432,97 Ctr. (2,15 Proc.), auf Schweden 26,13 Ctr. (0,13 Proc.), Norwegen 126,9 Ctr. (0,63 Proc.), Großbritannien 522,54 Ctr. (2,60 Proc.), Preußen und den Harz je 223,95 Ctr. (1,11 Proc.), Sachsen 447,9 Ctr. (2,23 Proc.), das übrige Deutschland 22,4 Ctr. (0,11 Proc.), Oesterreich 671,84 Ctr. (3,34 Proc.), Frankreich 37,32 Ctr. (0,19 Proc.), Spanien 933,12 Ctr. (4,63 Proc.), Australien 59,72 Ctr. (0,30 Proc.), Chili 1866,23 Ctr. (9,28 Proc.), Bolivia 970,44 Ctr. (4,82 Proc.), Peru 223,95 Ctr. (1,11 Proc.), Ecuador und Neugranada 97,04 Ctr. (0,48 Proc.), Brasilien 5,23 Ctr. (0,03 Proc.), Mexico 13063,61 Ctr. (64,93 Proc.) und Nordamerika 164,22 Ctr. (0,82 Proc). Auf Europa kommen demnach 18,23 Proc., auf Australien 0,30 Proc. und auf Amerika 81,47 Proc. Die Goldausbeute belief sich in demselben Jahre auf 3597,72 Ctr. und davon kommen auf Europa 13,66 Proc., Afrika 0,84 Proc., Asien 5,19 Proc., Australien 31,13 Proc. und Amerika 49,18 Proc. W. B.

Silicium oder **Kiesel**. Chemisches Zeichen = Si. Aequiv. = 277,778 (O = 100) oder 22,258 (H = 1). Uebrigens sind die Ansichten über das Atomgewicht des Silicium noch getheilt. Nimmt man an, daß die Kieselsäure nach der Formel SiO^2 zusammengesetzt ist, so beträgt das Atomgewicht nur $^2/_3$ der angeführten Zahlen. Einige Chemiker nehmen sogar für die Kieselsäure die Formel SiO an und dann reducirt sich das Atomgewicht auf $^1/_3$ der obigen Zahlen.

Der Kiesel ist ein einfacher Körper, zu den Nichtmetallen gehörend. Im reinen Zustande kommt er in der Natur nicht vor, indessen sehr häufig mit Sauerstoff verbunden als Kieselsäure.

Im reinen Zustande wurde der Kiesel zuerst 1824 durch Berzelius dargestellt, bei welchen Untersuchungen Wöhler, damals ein Schüler von Berzelius, hülfreiche Hand leistete. Man erhält den Kiesel, wenn man Kieselsäure mit Kalium erhitzt. Einem Theile der Kieselsäure wird hierbei der Sauerstoff entzogen, während sich ein anderer Theil derselben mit dem eben entstandenen Kali zu kieselsaurem Kali verbindet nach der Gleichung:



$$\underbrace{2\,SiO^3}_{\text{Kieselsäure}} + \underbrace{K}_{\text{Kalium}} = \underbrace{(SiO^3 + 3\,KO)}_{\text{kieselsaures Kali}} + \underbrace{Si}_{\text{Silicium}}$$

Die Zersetzung der Kieselsäure geht aber sehr unvollständig vor sich; ein Theil derselben wird nicht angegriffen und neben dem kieselsauren Kali erhält man auch Kieselkalium. — Besser ist es, Kieselfluorkalium mit Kalium zu mischen und dann in einem Glasrohre zu erhitzen. Indem das Kalium auf Kosten des

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLI. S. 114.

Sauerstoffs der Kieselsäure verbrennt, erglüht die Masse plötzlich. Dann bringt man die leberbraune Masse von Fluorkalium und Kieselkalium in kaltes Wasser. Durch das letztere wird das Wasser zerlegt; der Wasserstoff entweicht und der Sauerstoff tritt an das Kalium und bildet damit Kali, während der Kiesel sich ausscheidet. Durch öfteres Aufgießen von Wasser entfernt man das Kali und auch das etwa unzersetzt gebliebene Kieselfluorkalium. — Gleichfalls erhält man Kiesel, wenn man Dämpfe von Fluorkiesel über Kalium leitet. Letzteres zerlegt den Fluorkiesel; man erhält Fluorkalium und Kiesel. Das Gemenge beider wird gleichfalls mit Wasser behandelt, um den Kiesel abzuscheiden. Nimmt man statt des Kieselsuperfluorids (Fluorkiesels) Kieselsuperchlorid, so bildet sich Chlorkalium, das sich leichter durch Wasser entfernen läßt.

Der Kiesel bildet ein braunes, stark abfärbendes Pulver, das dem Bor im äußeren Ansehen und auch in seinen chemischen Eigenschaften ähnlich ist. In verschlossenen Gefäßen kann es nicht geschmolzen werden; zwischen den Polen einer sehr starken galvanischen Säule schmilzt es jedoch zu einer glasigen Kugel. Jedoch verändert der Kiesel in der Weißglühhitze seine physikalischen, und damit auch seine chemischen Eigenschaften. Er tritt also in zwei allotropischen Zuständen auf. Berzelius nennt den Kiesel vor dem Glühen α Kiesel und den veränderten β Kiesel. Durch Säuren wird der Kiesel nicht angegriffen; eine Ausnahme macht jedoch die Flußsäure. Desgleichen wird der Kiesel in der Wärme durch eine concentrirte Auflösung von Kali aufgelöst. Beim Erhitzen an der Luft verbrennt der Kiesel zu Kieselsäure, jedoch nur theilweise, da der Ueberzug der Kieselsäure die weitere Einwirkung des Sauerstoffs hemmt. Dies gilt jedoch nur von dem α Kiesel; der β Kiesel wird weder durch Flußsäure und Kali aufgelöst, noch verbrennt er beim Erhitzen an der Luft.

Glüht man den Kiesel in jedem Zustande mit trockenen kohlensauren Alkalien, so wird er unter Feuererscheinung oxydirt und es bilden sich kieselsaure Alkalien. Die Kohlensäure wird hierbei zerlegt und Kohle abgeschieden. Eben so bilden sich beim Glühen von Kiesel mit den Hydraten der Alkalien kieselsaure Alkalien, indem das Wasser zerlegt wird. Beim Schmelzen mit Salpeter findet die Oxydation des Kiesels nur in der Weißglühhitze statt. Erhitzt man den Kiesel im Schwefeldampf oder Chlor, so verbrennt er zu Schwefel- und Chlorkiesel.

Die Erforschung der chemischen Eigenschaften des Kiesels verdanken wir besonders Berzelius. Obgleich er wiederholt äußerte, wie interessant es sein müsse, diesen Körper im krystallinischen Zustande kennen zu lernen, konnte er den Kiesel doch nicht anders als amorph erhalten. Die Entdeckung des krystallinischen Kiesels war Deville vorbehalten. Derselbe erhielt bei der Darstellung von Aluminium zuweilen ein dunkelgraues, brüchiges, krystallinisches Metall, welches bei der Auflösung in Salzsäure krystallinische, metallglänzende Blättchen ungelöst zurückließ, die Deville als Silicium in einem dem Graphit analogen Zustande erkannte *). Dasselbe erhielt auch Wöhler mitunter, wenn er bei der Reduction des Aluminium statt der eisernen Tiegel gewöhnliche hessische angewendet hatte. Es war klar, daß sich durch die Berührung mit der Tiegelmasse Fluorkieselnatrium gebildet hatte, und daß aus diesem durch das Aluminium das

*) Ann. de Chim. et de Phys.

Silicium reducirt und krystallisirt erhalten worden sei. Diese Vermuthung bestätigt sich durch Versuche, so daß man das Silicium in dieser schönen Form ganz willkürlich darstellen kann *). Man schmilzt in einem hessischen Tiegel, ungefähr bei Silberschmelzhitze, Aluminium mit dem 20- bis 40fachen Gewicht wohlgetrockneten Fluorkieselnatrium oder Fluorkieselkalium zusammen und erhält die Masse ungefähr eine Viertelstunde im Fluß. Der dunkeleisenschwarze Regulus besteht aus einer Verbindung von Aluminium und Silicium, die eine große Menge von graphitförmigem, krystallisirtem Silicium eingeschlossen enthält. Diese Massen sind ganz spröde und haben einen großblättrigen Bruch mit Metallglanz. Man zerdrückt sie und zieht sie mit concentrirter Salzsäure aus, wobei man sie so lange erwärmt, bis die Entwickelung von Wasserstoffgas aufhört. Dann entfernt man durch Flußsäure die Kieselsäure, die sich bei der Auflösung der bestimmten Verbindung zwischen Aluminium und Silicium gebildet zu haben scheint, und wäscht dann den krystallinischen Rückstand mit Wasser aus.

Je nach der Dauer des Schmelzens erhält man von 100 Th. Aluminium 70 bis 80 Th. siliciumhaltiges Aluminium und hieraus wieder 65 bis 75 Proc. krystallinisches Silicium. Das Aluminium scheint hier in ähnlicher Weise den krystallinischen Zustand des Silicium zu bedingen, wie das schmelzende Roheisen die Bildung des Graphit aus der amorphen Kohle. Die Krystallblätter sind vollkommen undurchsichtig und metallglänzend, sehr ähnlich dem natürlichen und dem Hohofen-Graphit. Beim Zerreiben bilden sie ein dunkelbraunes Pulver.

Das Silicium ist sehr hart; Glas wird davon stark geritzt. Dagegen wird der Topas nicht vom Silicium angegriffen. Spec. Gewicht bei 10° C. = 2,49. Es zeigt sich also auch hier der auffallende Umstand, daß der Grundstoff leichter ist als seine Sauerstoffverbindung; denn das spec. Gewicht verschiedener Quarzarten wird zu 2,6 bis 2,8 angegeben. Nach Deville ist das Silicium ein vollkommener Leiter der Elektricität. Es zeigt sich eben so beständig wie das geglühte pulverförmige Silicium; von einer mäßig starken Lauge wird es jedoch langsam unter Wasserstoffentwickelung aufgelöst. Im Chlorstrome erhitzt bildet es gleichfalls Chlorsilicium; eben so zerlegt es die Kohlensäure. Es scheint eben so wenig wie die Kohle schmelzbar zu sein.

Die chemischen Analogien, welche das Silicium neben die Kohle stellen, brachten Deville auf den Gedanken, daß das Silicium eben so seinen Diamant haben könne, wie es seinen Graphit hat. Er erhielt später Krystalle **), welche durch Messungen genau bestimmt werden konnten. Diese, 6 bis 7^{mm} lange Nadeln, sind bald hexagonale Prismen, mit sehr spitzen Pyramiden zugespitzt, bald sind es in der Richtung ihrer Axen aneinandergereihte Rhomboëder, deren Kantenwinkel ungefähr 60° 30′ beträgt. Später erhielt Deville größere Rhomboëder mit einem Kantenwinkel von 69° 10′. Genauere Untersuchungen über die Krystallform des Silicium hat Senarmont angestellt ***).

Das rhomboëdrische Silicium ähnelt durch seine Farbe und das Irisiren dem Eisenglanze von der Insel Elba. Die Nadeln sind so scharf, daß sie die Finger verletzen, wenn man sie an ihren Spitzen faßt. Die Krystalle sind von absoluter

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVII. S. 266.
**) Compt. rend. T. XLII. p. 49.
***) Compt. rend. T. XLII. p. 313.

Reinheit. Sie schmelzen bei einer Temperatur, welche zwischen dem Schmelzpunkte des Goldes und dem des Gußeisens liegt und nehmen alsdann leicht eine dem Diamant mit gekrümmten Flächen ähnliche Gestalt an, welche dem durch Schmelzung erhaltenen Silicium eigenthümlich zu sein scheint.

Zur Darstellung des rhomboëdrischen Silicium brachte Deville Aluminium in einem Schiffchen in eine Porzellanröhre und ließ einen Strom von Wasserstoffgas, der mit Dämpfen von Chlorsilicium gesättigt war, hindurchgehen, während die Röhre zum Glühen gebracht ward. Der Inhalt des Schiffchens wird dann nach und nach mit Königswasser, kochender Fluorwasserstoffsäure und schmelzendem saurem schwefelsaurem Natron behandelt. — Der Vorgang bei der Bildung des Silicium ist folgender: das Chlorsilicium wird durch das Aluminium zersetzt und das freigewordene Silicium löst sich so zu sagen in dem Aluminium auf. Jedes Molekül des hinzutretenden Chlorürs bewirkt die Concentration der Auflösung und ist diese gesättigt, so krystallisirt das leichtere Silicium an der Oberfläche.

Gore hat Silicium durch elektrische Zersetzung einer Auflösung von Wasserglas erhalten *). Er beschreibt das auf diesem Wege gewonnene Silicium als ein weißes Metall (?), das dem Silber sehr nahe komme. Die übrigen Eigenschaften desselben hat er noch nicht untersucht.

Chenot giebt von dem schwammförmigen Silicium an **), daß es beim Pressen stark detonire. Bei weniger als 3 Grm. Silicium, die einem Drucke von ungefähr 300 Atmosphären ausgesetzt wurden, fanden sich alle unterhalb liegenden Gegenstände zertrümmert. Stahlsplitter der Form waren bis zur Tiefe von einigen Millimetern in das Gußeisen eingetrieben und der 20 Centim. dicke Cylinder der hydraulischen Presse war zersprungen, obgleich das Sicherheitsventil frei war. Der zur Aufnahme des zu pressenden Silicium dienende eiserne Ring war an zwei Punkten durchschnitten, ohne verbogen zu sein. Die heftige Detonation hatte keine unglücklichen Folgen für die um die Presse stehenden Personen.

Bis vor kurzem kannte man nur eine Verbindung des Silicium mit Sauerstoff, die Kieselsäure oder, wie sie nach der älteren Benennung genannt wird, die Kieselerde. Erst ganz neuerdings haben Buff und Wöhler ***) bei einer Untersuchung über das Verhalten des Aluminium zum elektrischen Strom eine neue Oxydationsstufe des Silicium, so wie deren entsprechende Chlorverbindung entdeckt.. Diese Verbindungen sind besonders dadurch merkwürdig, daß sie höchst wahrscheinlich endlich die Frage in Betreff des wahren Atomgewichtes des Silicium entscheiden werden. Näheres ist indessen darüber noch nicht bekannt.

Die Kieselsäure (SiO^3) wurde zuerst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts durch Bergman als eine eigenthümliche von der Kalk- und Thonerde verschiedene Erde erkannt. Doch blieb die Natur derselben noch unerforscht. Lavoisier meinte zwar 1787, die Zeit sei nahe, wo man die Kieselerde als einen zusammengesetzten Körper erkennen werde; doch giebt er nicht bestimmt an, welche Zusammensetzung er vermuthe. Davy's Versuche die Kieselerde zu reduciren gelangen nicht. Dagegen erklärte Smithson 1811 und fast gleichzeitig Berzelius, daß die Kieselerde eine schwache Säure sei, worauf schon 1666 Tache-

*) Phil. Mag. Vol. VII. p. 227.
**) Compt. rend. T. XL. p. 769.
***) Ann. d. Chemie und Pharm. Bd. CII. S. 128.

nius hingedeutet hatte. Berzelius erklärte zuerst, bald nach Entdeckung der Alkalimetalle, daß die Kieselerde aus Sauerstoff und einem eigenthümlichen Elemente bestehe.

Die Kieselsäure gehört zu den verbreitetsten Bestandtheilen unserer Erdoberfläche. Theils kommt sie frei vor, theils mit Basen verbunden als kieselsaure Salze oder Silicate. Die reine Kieselsäure findet sich krystallinisch oder krystallisirt als Bergkrystall und Quarz. Der farblose Bergkrystall zeichnet sich durch Glanz und Durchsichtigkeit aus; er kommt in eine sechsseitige Pyramide endenden Prismen vor. Die Krystalle finden sich in allen Graden der Größe auf Gängen, vorzüglich im Urgebirge, in großen Drusenräumen (Krystallhöhlen) im Quarz, namentlich in der Schweiz und auf Madagascar. Der Bergkrystall ist sehr hart; er ritzt das Glas. Spec. Gewicht = 2,6. Die Temperatur unserer Oefen reicht nicht aus, um den Bergkrystall zum Schmelzen zu bringen; im Knallgasgebläse schmilzt er jedoch zu einer glasigen Kugel, die sich in elastische Fäden ausziehen läßt. Wirft man die heiße Kugel in Wasser, so wird sie so hart, daß sie Stahl ritzt und kaum durch einen Hammer zerschlagen werden kann. Der Bergkrystall wird bei gewöhnlicher Temperatur durch kein anderes Reagens angegriffen, als durch die Fluorwasserstoffsäure. Aetzkali greift den Bergkrystall gleichfalls an, aber erst bei erhöhter Temperatur. Außer den farblosen Krystallen kommen auch gelblichweiße, weingelbe, gelblichgraue, rauchgraue (Rauchtopas), nelkenbraune, schwärzlichbraune und bei reflectirtem Licht selbst pechschwarze vor. — Der Quarz kommt meist in sechsseitigen Pyramiden vor. Der Amethyst ist ein durch Manganoxyd violett gefärbter Quarz mit stenglicher Absonderung.

Die sogenannten Rheinkiesel sind abgerundete Gerölle von Bergkrystall und die gewöhnlichen Kieselsteine sind Quarzgerölle. Ferner kommt der Quarz in kleinen Körnern als Sand vor, die im Sandstein durch ein Bindemittel an einander gekittet sind. Im Jaspis ist der Quarz mit Thon und Eisenoxyd gemengt und im Kieselschiefer mit Thon und Kohle. Im amorphen Zustande und mit Wasser verbunden tritt die Kieselsäure als Opal auf in zahlreichen Varietäten, als Glasopal (Hyalith), edler, gemeiner Opal, Feuer-, Halb-, Cachegeropal (Perlmutteropal), Sinteropal oder Kieselsinter (Kieseltuff), Eisenopal (Opaljaspis), Leberopal (Knollenstein), Serpentinopal. Gleichfalls sind Chalcedon (Onyx, Chalcedonix, Carneol, Chrysopras, Heliotrop), Achat und Feuerstein entweder wesentlich amorphe Kieselsäure oder Gemenge von dieser mit Quarz.

In dieser großen Zahl von Mineralien, denen der Hauptsache nach ein und derselbe Bestandtheil zu Grunde liegt, zeigt die Natur deutlich, wie sie mit Leichtigkeit durch Abänderung der Form oder durch geringfügige Beimengungen anderer Stoffe aus einem einzigen Körper eine große Mannigfaltigkeit der verschiedensten Mineralien erzeugen kann. Für das alltägliche Leben sind die vorstehenden Mineralien von großer Wichtigkeit. Diejenigen, welche als reine Kieselsäure angesehen werden, dienen zur Bereitung von Glas, Porzellan und Wasserglas. Der farblose Bergkrystall, Amethyst, Carneol, Achat ꝛc. werden als Schmucksteine verarbeitet, Chalcedon, Achat und Feuerstein zu Geräthschaften für Chemiker. Der Kieselschiefer dient als Probirstein, und der Sandstein liefert ein geschätztes Baumaterial.

Von den wichtigeren in der Natur vorkommenden Silicaten sind anzuführen der Feldspath ($KO, SiO^3 + Al^2 O^3, 3 SiO^3$), aus welchem durch Zersetzung der

Thon (kieselsaure Thonerde) entsteht, die Hornblende ($CaO, SiO^3 + 3 MgO, 2 SiO^3$), der Augit von verschiedener Zusammensetzung ($3 RO, 2 SiO^3$), der Granat ($3 RO, SiO^3 + R^2 O^3, 3 SiO^3$).

Von den Gebirgsarten führen wir an: den Granit und Thonschiefer. Ueberhaupt bestehen alle Gebirgsarten, in denen nicht wesentlich Kalk vorkommt, zum größten Theil aus Kieselerde.

Die Kieselsäure kommt auch aufgelöst im Wasser vor, theils als freie Kieselsäure oder in Form von Silicaten, je nach den Gebirgsarten, durch welche das Wasser seinen Weg nimmt; in kleiner Menge wohl in den meisten Quellen (bis zu $^1/_{10000}$) und in dem Meerwasser, in größerer in dem Wasser vulkanischer Gegenden, so besonders in den heißen Quellen auf Island. Aus diesen setzt sich fortdauernd Kieseltuff ab, der für die isländischen Quellen so charakteristisch ist. Die weißen Ueberrindungen und Stalaktiten erheben sich in der nächsten Umgebung dieser Quellen bald in der Form eines kleinen Kraterkonus, bald gestalten sie sich zu länglichen Mauern und großen Becken, bald zu runden Schichten von besonderer Regelmäßigkeit. Die Bildung dieser Incrustationen ist einfach und leicht verständlich. Bei dem Erkalten des Wassers scheidet sich keine Spur von Kieselsäure aus; erst beim Abdampfen in einer Schale sondert sie sich in Gestalt einer feinen Kruste und zwar nur an den benetzten Rändern des Gefäßes ab, wo eine völlige Verdunstung eintritt, während die Flüssigkeit selbst erst bei weiter vorgeschrittener Verdunstung durch sich ausscheidendes Kieselsäurehydrat getrübt wird. Dieser anscheinend geringfügige Umstand ist für die Geisirbildungen von der größten Wichtigkeit. Denkt man sich, daß eine solche Quelle ihr Wasser von einem Bassin aus über eine schwach geneigte Bodenfläche ausgießt, so ist einleuchtend, daß das Bassin, in welchem das stets erneuerte Wasser der Verdunstung nur wenig zugänglich ist, von Kieselbildungen frei bleiben muß, während die Ränder, welche den Wasserspiegel überragen, sich mit einer Kruste von Kieselsäure bekleiden. Weiterhin, wo das Wasser sich auf der die Quelle umgebenden Fläche verbreitet, nehmen die Incrustationen in dem Maße zu, als die Verdunstungsoberfläche wächst. Die dadurch bewirkte Bodenerhöhung setzt dem Abfluß ein Hinderniß entgegen und leitet dasselbe gegen den tieferen Boden hin, wo das Spiel dieser Seitenbildungen sich von Neuem wiederholt, bis die veränderten Niveauverhältnisse immer wieder einen Wechsel des Wasserabflusses herbeiführen. Da das Quellenbassin an diesen Incrustationen keinen Antheil nimmt, so baut es sich, indem es sich mit einem Hügel von Kieseltuff umgiebt, zu einer tiefen Röhre auf, die, wenn sie eine gewisse Höhe erreicht hat, alle Bedingungen in sich vereinigt, um die Quelle in einen Geisir, d. h. continuirlichen oder periodischen Springquell, zu verwandeln. Hiermit ist die Entwickelung der Kieseltuffbildungen noch nicht vollendet; diese schreiten immerwährend fort, bis sie endlich eine Höhe erreichen, die dem Spiel der Quelle Schranken setzt. Nun entstehen große Tuffreservoire, die mit heißem, stagnirendem oder abfließendem Wasser erfüllt sind. Diese Quellen, die sich an vielen Orten Islands, besonders ausgezeichnet aber zu Reykir, wiederholen, sind von unbeschreiblicher Schönheit. Endlich aber verschwinden die Quellen an ihrem ursprünglichen Orte ganz, indem sie in Folge des stets wachsenden hydrostatischen Druckes die tieferen Punkte der Umwallung durchbrechen. — Das Wasser, welches über den Rand des Geisirbeckens in den Huit-Aa oder weißen Fluß abfließt, ertheilt diesem auf eine weite Strecke hin die Eigenschaft, Alles, was er auf seinem

Laufe benetzt, zu versteinern. Deshalb finden sich die Pflanzen an beiden Ufern mit Kieselpanzern in den zierlichsten Formen überzogen. Die heißen Quellen auf der Azoreninsel St. Michael stehen den isländischen nicht nach. Aber selbst einige kalte Quellen, z. B. in den Karpathen und in Brasilien setzen Kieseltuff ab.

Bergman wies zuerst 1770 die Gegenwart der Kieselsäure in den Quellen von Upsala nach, während Black 1794 den bedeutenden Kieselerdegehalt der vulkanischen Quellen auf Island entdeckte. — Die Kieselsäure geht auch in die Pflanzen über; einige, wie die Gräser, Schachtelhalme, Bambusrohr nehmen sie in großer Menge auf und lagern sie in der Rinde und Oberhaut ab, wodurch dieselben eine große Härte und Rauhigkeit erhalten. Deshalb können wir auch den Schachtelhalm (Equisetum hiemale) als Schleifmittel gebrauchen. Der bedeutende Gehalt an Kieselsäure neben den verhältnißmäßig geringen Mengen von Alkalien in den Aschen dieser Pflanzen macht es wahrscheinlich, daß sie in den meisten Fällen die Kieselsäure, die sie zu ihrer Nahrung bedürfen, als gelöste freie Kieselsäure in sich aufnehmen. Bei der langsamen Zersetzung der alkalischen Silicate im Boden, an der die Kohlensäure einen bedeutenden Antheil nimmt, wird die Kieselsäure ausgeschieden und zwar zur Zeit niemals in bedeutenden Mengen, die sich im Wasser lösen und so in die Pflanzen gelangen. Brewster nahm an, daß die Kieselsäure im Schachtelhalm und einigen Gräsern krystallisirt vorkomme, doch ist dies nach Bailey *) nicht der Fall.

In dem Körper der höheren Thiere kommt die Kieselsäure nur in geringer Menge vor. Henneberg hat sie im Blute der Hühner und Gorop-Besanez in den Federn der Vögel gefunden. Von den Infusorien aber wird sie in enormer Menge zur Bildung der Panzer verbraucht. So bestehen nach Ehrenberg der Polirschiefer, Tripel, Kieselguhr, die in unermeßlichen Lagern gefunden werden, nur aus solchen Kieselpanzern der Infusorien, so daß also diese kleinen Baumeister an der Entstehung des Festlandes einen sehr wesentlichen Antheil gehabt und noch jetzt haben. Diese sogenannte Infusorienerde, die sonst nur zum Putzen und Poliren gebraucht wurde, hat in der neueren Zeit eine große Wichtigkeit erlangt, indem sie sich besonders zur Darstellung des Wasserglases eignet, das von Tag zu Tage immer größere Bedeutung erlangt **).

Wenn man Bergkrystall und Quarz der Rothglühhitze aussetzt und dann in kaltes Wasser wirft, so lassen sie sich sehr leicht pulvern. Beim Erhitzen nehmen die durch Eisenoxyd verunreinigten Stellen eine rothe Farbe an; entfernt man diese verunreinigten Stellen, so kann man leicht ganz reine Kieselsäure erhalten. Stehen diese Mineralien nicht zu Gebote, so kann man aus jedem beliebigen Silicat reine Kieselsäure darstellen. Man pulvert das Mineral fein, mischt es mit der vierfachen Menge eines Gemisches von kohlensaurem Kali und Natron zusammen, schmilzt das Ganze, löst dann die Masse in Salzsäure auf, dampft ab und glüht. Beim Schmelzen tritt die Kieselsäure an Stelle der Kohlensäure, so daß also kieselsaures Alkali entsteht. Dieses wird durch die Salzsäure zerlegt und die Kieselsäure scheidet sich mit Wasser verbunden in Form einer Gallerte aus, die sich aber bei weiterem Zusatz von Wasser und Säure wieder auflöst. Nach dem

*) Sillim. amer. Journ. Vol. XXI. p. 357. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXX. S. 63.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. CII. S. 101.

Eintrocknen hat die Kieselsäure in Folge der Einwirkung der Säure die Auflöslichkeit verloren, so daß man durch Salzsäure die übrigen Beimengungen entfernen kann.

Die so erhaltene Kieselsäure ist ein weißes, höchst zartes, geschmackloses Pulver, das sich rauh anfühlt und zwischen den Zähnen knirscht. Sie ist in Wasser und Säuren, mit Ausnahme der Fluorwasserstoffsäure, nicht löslich. Spec. Gewicht 2,66. — Eine in Wasser auflösliche Kieselsäure erhält man durch Zersetzen des Schwefelkiesels und des Fluorkiesels in Wasser. Im ersteren Falle wird die ganze Menge des Kiesels in Kieselsäure verwandelt ($Si\,S^3 + 3\,HO = Si\,O^3 + H\,S$), im letzteren wird nur ein Drittel des Kiesels als Kieselsäure abgeschieden, indem sich gleichzeitig Kieselfluorwasserstoffsäure bildet ($3\,Si\,Fl^3 + 3\,HO = (3\,H\,Fl + 2\,Si\,Fl^3) + Si\,O^3$), ein äußerst leichtes und lockeres Pulver, das durch den leichtesten Luftzug fortgeführt wird. Aus gewissen Verbindungen, wie z. B. dem Kieseläther, scheidet sich bei einer langsamen und freiwilligen Zersetzung die Kieselsäure als eine durchsichtige Gallerte ab, die zwar mit der Zeit eine große Härte annimmt, ohne aber die Durchsichtigkeit zu verlieren. Diese Kieselsäure kann man sehr leicht färben, indem man dem Aether verschieden gefärbte Substanzen zusetzt; grün durch Kupferchlorid, rosenroth durch Kobaltchlorür, granatroth durch Campecheholzextract.

Berzelius unterscheidet demnach zwei isomerische Modificationen der Kieselsäure: die unlösliche (α Kieselsäure) und die in Wasser und Säuren lösliche (β Kieselsäure). Letztere enthält jedoch stets Wasser und deshalb sieht man diese Modification auch als Kieselsäurehydrat an, obgleich der Wassergehalt nicht constant ist. Wird dieses Wasser, welches die Kieselsäure nur sehr schwach zurückhält, entfernt, so verliert auch die Kieselsäure die Auflöslichkeit. Ueber den Grund der Auflöslichkeit der Kieselsäure sind die Ansichten sehr verschieden *). Die Auflöslichkeit der Kieselsäure geht gleichfalls verloren, sobald man sie mit Schwefelsäure oder Salzsäure eindampft. Die feuerfesten Alkalien und deren neutrale kohlensaure Salze üben auf die Kieselsäure eine Wirkung aus, die der der Säuren ganz entgegengesetzt ist.

Kocht man unlösliche Kieselsäure mit solchen Lösungen, so löst sich erstere nach und nach auf, ohne daß hierbei Kohlensäure entwickelt wird. Die Kieselsäure wird hierbei durch die Alkalien in die lösliche Modification umgewandelt und löst sich dann im Wasser, denn man kann das Alkali vollständig mit einer Säure sättigen, ohne daß sich Kieselsäure abscheidet. Eben so löst sich auch die natürliche amorphe Kieselsäure, die stets Wasser enthält, also der Opal, in Alkalien auf, nicht aber die krystallisirte. Auf diese Weise kann man also die amorphe Kieselsäure von der krystallisirten trennen. Einige Mineralien, wie z. B. Feuerstein und Chalcedon lösen sich nur zum Theil in Kalilauge; sie enthalten demnach neben der amorphen auch krystallisirte Kieselsäure.

Die wässerige Auflösung der Kieselsäure ist geschmacklos und röthet Lackmuspapier nicht. Es ist sehr wahrscheinlich, daß viele der aus Kieselsäure bestehenden Mineralien, wie z. B. der krystallisirte Quarz, Achat, Chalcedon, so wie auch der Opal sich aus solchen Auflösungen der Kieselsäure abgeschieden haben. Gegen

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIX. S. 1; Bd. LXVIII. S. 233. Arch. d. Pharm. [2]. Bd. LXXXIV. S. 129. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 337 u. 373.

das Feuer verhält sich die künstlich dargestellte Kieselsäure eben so wie die in der Natur vorkommende. An und für sich ist die Kieselsäure allerdings feuerbeständig, doch verflüchtigt sie sich bei Gegenwart von Wasserdampf bei der Temperatur, in der Eisen schmilzt. Daher findet man häufig im Gestelle der Hohöfen oder an der Mündung der Rauchfänge an Porzellanöfen Kieselerde in schneeartigen oder feinstrahligen Massen abgelagert. — Durch Kalium wird der Kieselsäure der Sauerstoff entzogen, eben so durch Kohle bei Gegenwart verschiedener Metalle.

Verändert auch die Kieselsäure die Lackmustinktur nicht, so ist sie doch eine Säure und treibt sogar, wegen ihrer großen Feuerbeständigkeit, sehr starke Säuren aus, die in der Hitze flüchtig sind, während ihre löslichen und zum Theil auch die unlöslichen Verbindungen sehr leicht durch Säuren, selbst die schwächsten, wie z. B. die Kohlensäure, zerlegt werden. Die Kieselsäure verbindet sich in den mannigfachsten Verhältnissen mit den Basen und diese wieder unter einander zu zahlreichen Doppelsalzen. Diese Verbindungen lassen sich meistens nur durch Zusammenschmelzen der Kieselsäure mit den Metalloxyden darstellen. Während die einfachen Salze meistens krystallinische Massen bilden, geben die Doppelsalze in der Regel ein Glas. Das Verhältniß des Sauerstoffs der Basen zu dem der Säure ist sehr verschieden. Bald enthält die Base eben so viel Sauerstoff als die Säure, bald nur $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_6$, $^1/_9$, $^1/_{12}$ so viel, bald wieder das $1^1/_2$, 2 oder 3fache und dann sind auch noch complicirtere Verhältnisse nicht selten. Außer den kieselsauren Alkalien sind die übrigen Salze sämmtlich in Wasser unlöslich. Je weniger die Kieselsäure vorherrscht und je stärker die Basis ist, um so leichter werden sie durch Säuren zersetzt. Da man, wie bereits angeführt, über die Zusammensetzung der Kieselsäure noch sehr verschiedene Ansichten hegt, so herrscht auch in der Benennung der kieselsauren Verbindungen die größte Verwirrung. Am meisten Anhänger hat die Ansicht von Berzelius, der in der Kieselsäure 3 Aeq. Sauerstoff annimmt. Danach sind diejenigen Salze, in welchen der Sauerstoffgehalt der Base ein Drittel von dem der Säure beträgt, neutral; giebt man der Kieselsäure die Formel SiO^2, so sind die neutralen Salze von Berzelius anderthalbsaure und bei der Formel SiO dreifachsaure Salze, während die neutralen Salze nach der Formel SiO^2, in welchen die Base halb so viel Sauerstoff enthält wie die Säure, bei Berzelius $^2/_3$ saure Salze sind. Dazu kommt noch, daß die Mineralogen wieder eine andere Benennung haben. Sie nennen einfache Silicate diejenigen Verbindungen, deren Base eben so viel Sauerstoff enthält wie die Säure, Bi-, Tri-Silicate rc. aber diejenigen, in denen die Säure 2,3 Mal so viel Sauerstoff enthält.

Von den in der Natur vorkommenden kieselsauren Verbindungen werden einige nicht durch Säuren angegriffen, wohl aber nachdem sie geglüht worden sind. Bei den wasserhaltigen Silicaten wird gerade durch das Glühen die Zersetzung durch Salzsäure verhindert oder doch sehr erschwert. Sehr leicht lassen sich diese Verbindungen aber aufschließen, d. h. durch Salzsäure zersetzbar machen, wenn man sie mit caustischen oder kohlensauren Alkalien oder alkalischen Erden schmilzt. Eben so werden alle Silicate durch die Kieselfluorwasserstoffsäure zersetzt und dieses Verfahren wendet man stets bei der quantitativen Analyse an, sobald die Silicate Alkalien enthalten.

Durch das Löthrohr erkennt man die Gegenwart der Kieselsäure sehr leicht. Man schmilzt die Probe mit Phosphorsalz zusammen, wodurch die Kieselsäure abge-

schieden wird, die dann in der klaren Perle schwimmt. Ist nur sehr wenig vorhanden, so erscheint die Perle in der Hitze zwar klar, aber nach dem Erkalten erkennt man die Kieselsäure doch. Die quantitative Bestimmung der Kieselsäure ist verschieden, je nachdem sich die Mineralien durch Säuren zersetzen lassen oder nicht. Im ersteren Falle scheidet sich zwar der größte Theil der Kieselsäure in Flocken ab, aber etwas bleibt stets gelöst. Man macht daher durch Eindampfen der sauren Flüssigkeit die Kieselsäure unlöslich und entfernt alles Uebrige durch Ausziehen mit Salzsäure. Im anderen Falle schließt man das Mineral durch Schmelzen mit kohlensauren Alkalien oder alkalischen Erden auf und verfährt nun wie bei der Darstellung der Kieselsäure angegeben ist. Mitunter bestehen die Silicate aus Verbindungen, die durch Säuren zersetzt werden und aus solchen, die dadurch nicht aufgeschlossen werden. Hier zieht man die Basen des zersetzbaren Antheiles durch Salzsäure aus, wo dann die Kieselsäure, die mit jenen Basen verbunden war, so wie der nicht zersetzbare Antheil zurückbleiben. Die Kieselsäure trennt man von diesem durch Auflösen in Kalilauge und das unzersetzte Mineral wird dann durch Schmelzen mit Alkalien aufgeschlossen.

Mit dem Chlor verbindet sich der Kiesel zu Kieselchlorid (Chlorkiesel, Chlorsilicium, Siliciumchlorür, — chlorid, — superchlorid) $Si Cl^3$. Leichter als durch Verbrennung des Silicium in Chlorgas erhält man diese Verbindung, wenn man Chlor über ein Gemenge von höchst fein zertheilter Kieselsäure und Kohle leitet, das in einem Porzellanrohr stark erhitzt wird. Die Kohle bildet mit dem Sauerstoff der Kieselsäure Kohlenoxydgas; der Chlorkiesel ist flüchtig und wird in einer stark abgekühlten Vorlage aufgefangen. Durch einen Ueberschuß von Chlor wird der Chlorkiesel gelb gefärbt; durch Schütteln mit Quecksilber wird das Chlor entfernt. Der Chlorkiesel ist eine farblose, leicht bewegliche Flüssigkeit. Spec. Gewicht 1,52. Er kocht bei 59° C., riecht erstickend und reizend, röthet Lackmuspapier und stößt an der Luft weiße Nebel aus, indem er durch den Wassergehalt derselben in Salzsäure und Kieselsäure zerlegt wird. Mit trockenem Ammoniakgas liefert der Chlorkiesel eine feste weiße Masse, die zwar in der Hitze beständig ist, aber nicht beim Vermischen mit Wasser. Mit Schwefelwasserstoff bildet der Chlorkiesel eine farblose, flüssige Verbindung (Chlorschwefelsilicium, $Si Cl^2 S$), die durch Wasser gleichfalls zerlegt wird.

Auf gleiche Weise wie mit dem Chlor verbindet sich der Kiesel auch mit dem Brom.

Ueber Kieselfluor und Kieselfluorwasserstoffsäure s. Bd. III. S. 290. Kieselfluor bildet mit den Fluormetallen eine große Reihe von eigenthümlichen Salzen, die theils leicht, theils sehr schwer in Wasser löslich sind.

Der Kiesel geht auch mit verschiedenen Metallen Verbindungen ein, wenn man Kieselsäure mit Kohle und Metallfeilspänen mischt und das Gemenge einem heftigen Essenfeuer aussetzt. W. B.

Sinne sind diejenigen Einrichtungen des leiblichen Organismus, durch welche wir zur Wahrnehmung der Gegenstände und ihrer Eigenschaften gelangen. Durch die Thätigkeit unserer Sinnesorgane, wenn diese auf bestimmte Weise in Wechselwirkung mit den Gegenständen begriffen sind, entstehen in den Sinnesnerven gewisse Reizzustände, welche zu dem Centralorgan (Gehirn) geleitet als Empfindungen auftreten. Die Art und Weise aber, wie die Nervenreize im Centralorgane die Form bewußter Eindrücke annehmen, hat die Psychologie nachzuweisen.

Beiläufig sei hier nur bemerkt, daß man den Nervenreiz nicht ohne Weiteres mit der Empfindung identificiren darf, nämlich insofern nicht als möglicher oder gar wahrscheinlicher Weise im Centralorgane, gleichviel wo, ein selbstständiges einfaches Seelenwesen existirt, das mit den Nerven in Wechselwirkung steht und gegen die Nervenreize reagirt. Die Empfindung ist dann nichts anderes als ein Zustand der gegen den Nervenreiz reagirenden Seele, oder die Perception dieses Reizes durch die Seele.

Man unterscheidet folgende Sinne: den Gefühlssinn mit Einschluß des Tastsinnes, den Geschmacks- und Geruchssinn, den Gesichtssinn und den Gehörsinn.

Durch den Gefühlssinn, dessen Organ das gesammte Nervensystem ist, unterscheiden wir unseren eigenen Leib von anderen Körpern. Vermittelst der fast überall verbreiteten Nerven erhalten wir ein Gefühl unseres körperlichen Thuns und Leidens, das entweder eine locale Beziehung hat, wie bei den Empfindungen des Hungers und Durstes und verschiedenen anderen Schmerz- und Lustempfindungen, oder mehr allgemeiner Natur ist, wie bei dem Gefühl der Ermüdung, Abgeschlagenheit und dergleichen. Die Empfindungen aber, welche die Thätigkeit der Muskeln begleiten, geben das Gefühl unseres körperlichen Thuns. Manche Empfindungen, wie eben die der Schläfrigkeit und Ermüdung, können als bloße Modification der sogenannten Gemeinempfindung oder des Gemeingefühls aufgefaßt werden. Die Gemeinempfindung selbst resultirt aber als dunkler Gesammteindruck aus den zahlreichen Empfindungen, welche den verschiedenen und wechselnden Vorgängen im Innern des Leibes entsprechen, und zu denen auch namentlich die Reize des sogenannten sympathischen Nervensystems ihren Beitrag liefern.

Die Nerven erscheinen in der Form von zarten, weißen Fäden, deren Durchmesser etwa $^1/_{100}$ bis $^1/_{2000}$ Linie beträgt. Eine größere Anzahl an einander liegender Nervenfasern, die von einer gemeinsamen Hülle umschlossen sind, bildet einen Nervenstrang. Mehrere solcher Stränge vereinigen sich mitunter auf ihrem Wege nach den Centralorganen, dem Rückenmark und Gehirn; und in dieser Beziehung spricht man von Nervenstämmen und Zweigen. Die feinsten Nervenfasern nennt man auch Primitivfasern, und jede von ihnen besteht aus einem Faden, der etwa die Zähigkeit des geronnenen Eiweißes hat. Dieser Faden, die Axenfaser, ist meist von einer zähen Flüssigkeit, dem Nervenmark, und dann noch von einer zarten hautähnlichen Hülle oder Scheide (Neurilem) umgeben. Die Hülle der Nervenstämme erstreckt sich jedoch nicht weiter als bis zu ihrem Eintritt in die Centralorgane, so daß der fernere Verlauf der Nervenfasern in diesen Organen entweder gar nicht oder doch nur auf eine sehr kurze Strecke hin beobachtet werden kann.

Die Centralorgane, Gehirn und Rückenmark, bestehen größtentheils aus zwei verschiedenen Gebilden, nämlich aus Nervenfasern von geringerer Dicke als die übrigen im Körper verbreiteten, und aus sogenannten Nervenzellen, die als Bläschen mit einem zähen und elastischen Inhalte erscheinen. Die Grundmasse derselben ist körnig mit einem hellen, kugelförmigen Bläschen, dem Zellenkerne, das eine Flüssigkeit und dunkle Körperchen (Kernkörperchen) in verschiedener Anzahl enthält. Die Nervenfasern der Centralorgane zeigen, wo sie in größerer Menge zusammenliegen, eine weiße, die Nervenzellen eine graue Farbe. Aus

den Zellen entspringen hier und da gewisse Fortsätze, die sich theils mehrfach verästeln und häufig auch mit den Fortsätzen anderer Nervenzellen vereinigen, theils in markhaltige Nervenfasern übergehen.

Man unterscheidet die Nerven des Körpers in Gehirn- und Rückenmarksnerven, je nachdem sie in die Nervenmasse des Gehirns oder Rückenmarks eingehen. An jeder Seite des Rückenmarks findet man aber zwei Reihen von Nervenwurzeln, vordere und hintere, die einen bemerkenswerthen Unterschied darbieten. Die vorderen Wurzeln oder die aus ihnen kommenden Nerven können mancherlei gewaltsame mechanische und chemische Einwirkungen erfahren, ohne daß dies Schmerz oder sonst eine Empfindung veranlaßt; dagegen entsteht bei solcher Behandlung der hinteren Wurzeln und ihrer Nerven die heftigste Schmerzempfindung. Diesem gemäß unterscheidet man die empfindenden (sensitiven, sensibeln) Nerven von den nicht empfindenden oder auch von den bewegenden (motorischen) Nerven. Durchschneidet man bei einem Frosche, nachdem das Rückgrat geöffnet und das Mark blosgelegt ist, auf der linken Seite alle drei hinteren Wurzeln, auf der rechten Seite alle drei vorderen Wurzeln der Nerven für die Hinterbeine; so wird dadurch an dem linken Beine die Empfindung, an dem rechten die Bewegung aufgehoben. Wird das rechte Bein, welches nicht mehr bewegungsfähig ist, verletzt, so zuckt der Frosch schmerzhaft, während derselbe keine Schmerzempfindung verräth, wenn man das linke Bein, in welchem sich beständig lebhafte Bewegung zeigt, verletzt oder auch ganz abschneidet.

Die motorischen Nerven sind nun eben solche, welche sich von den Centralorganen nach den Muskeln erstrecken und diese durch die Fortpflanzung eines von den genannten Organen ausgehenden Reizes zur Thätigkeit (Contraction) veranlassen. Durch die sensitiven Nervenfasern wird dagegen umgekehrt ein äußerer (peripherischer) Reiz zu den Centralorganen fortgepflanzt. Hiernach unterscheidet man auch zwischen centrifugaler und centripetaler Thätigkeit der Nerven. In den Nervenstämmen sind die motorischen Nervenfasern gewöhnlich mit sensitiven Fasern vereinigt. Beide Arten von Fasern zeigen übrigens in ihrem Aussehen keinen merklichen Unterschied.

Die sensitiv wirkenden Gefühlsnerven, deren Reizzustände eine bewußte Empfindung zur Folge haben, stehen alle mit dem Gehirn in Verbindung, so daß jede Nervenfaser von ihrem peripherischen, unter der Haut gelegenen Ende bis zum Gehirn gesondert verläuft, gesetzt auch, daß dieselbe mit anderen Fasern zu einem Strange zusammentritt. Jedem Punkte des äußeren peripherischen Nervenreizes entspricht hiernach ein bestimmter Punkt im Centralorgane, durch welches das Bewußtwerden des Reizes vermittelt wird. Von vielen gewöhnlichen Lebensverrichtungen, wie von dem Blutlaufe, der Athmung und Verdauung, haben wir in ihrem normalen Verlaufe keine bestimmte Empfindung. Die Speisen z. B. wirken zwar reizend auf die Nerven der Schleimhäute, welche den Reiz zum betreffenden Centralorgane leiten, so daß dann von hier aus ein neuer Reiz vermittelst der motorischen Nerven zu den Muskeln der Eingeweide geht, die dadurch zu einer der Verdauung entsprechenden Thätigkeit veranlaßt werden; allein wir erhalten doch keine Empfindung, in welcher irgend eine Hindeutung auf die Beschaffenheit des zu verdauenden Stoffes liegt.

Der auf der Oberfläche des Leibes verbreitete Tastsinn hat seinen peripherischen Sitz in einer Haut (Lederhaut), die aus eng verflochtenen Fasern und Faser-

bündeln besteht, nach außen hin von der unempfindlichen Oberhaut bedeckt und nach innen durch Zellgewebe mit den darunter liegenden Körpertheilen verbunden ist. Diese Haut setzt sich in die Eingänge der Körperhöhlen fort, wo sie, bei allmäligem Dünnerwerden der Oberhaut, von einer schleimigen Flüssigkeit überzogen ist und Schleimhaut genannt wird. Die Lederhaut zeigt an ihrer äußeren Fläche eine sehr große Menge von Erhabenheiten und Vertiefungen, zu denen insbesondere die sogenannten Haut- oder Gefühlswärzchen gehören, die auf der inneren Fläche der Hand und der Finger in regelmäßigen Reihen vorkommen. Man nimmt ihrer 150 bis 200 (in der hohlen Hand) auf dem Raume einer Quadratlinie an. Die aus dem Gehirne kommenden Tastnerven verbreiten sich in diese Wärzchen, namentlich in solche, welche keine Blutgefäße enthalten. Auch erfahren hier die Tastnerven häufig noch eine Theilung in mehrere Aeste, um in die sogenannten Tastkörperchen einzutreten. Die letzteren sind ungefähr $^1/_{25}$ Linie lange, mit Flüssigkeit angefüllte Bläschen, die besonders reichlich an den inneren Flächen der letzten Fingerglieder, auf der Zunge und dem rothen Theil der Lippen erscheinen.

Durch den Tastsinn erhalten wir die Empfindungen des Widerstandleistenden, des Spitzen, Scharfen, Stumpfen, Rauhen, Glatten, Harten, Weichen, Elastischen &c., dann auch die Empfindungen des Feuchten und Trocknen, des Warmen und Kalten. Man beschränkt wohl mitunter auch den Tastsinn nur auf die bewegliche Hand und die Fingerspitzen, deren Tastempfindungen im Verein mit gewissen Muskelempfindungen, welche beim tastenden Gebrauch der Hand die ersteren begleiten, vorzugsweise zur Erkennung der Oberflächengestalt der Körper und der sonstigen räumlichen Verhältnisse des Körperlichen nach seinen drei Dimensionen führen. Darum nennt man ihn wohl auch den Körpersinn. Den sonst auf der Oberfläche des Leibes verbreiteten Tastsinn bezeichnet man auch als äußeren Gefühlssinn, dessen Beschaffenheit aber im Wesentlichen, wie oben angedeutet, mit dem des Tastsinns übereinkommt.

Jedenfalls ist der Tastsinn der Hand und namentlich ihrer Endglieder von einer besonderen Feinheit, und vermöge ihrer Beweglichkeit von der größten Bedeutung für die Erkenntniß des Körperlichen.

Zwei Tastempfindungen, die an verschiedenen Stellen unseres Leibes erregt werden, vermögen wir bekanntlich als zwei getrennte zu unterscheiden. Jedoch geschieht dies nicht unter allen Umständen. Wenn man die abgestumpften oder mit Siegellack überzogenen Spitzen eines Zirkels auf zwei Punkte der Hautfläche gleichzeitig aufsetzt, so hat man zwei Tastempfindungen. Beide Berührungen werden unterschieden, falls der Abstand beider Zirkelspitzen nicht unterhalb einer gewissen Grenze liegt; sonst werden beide Berührungen als eine empfunden. Auf der Zungenspitze empfindet man die beiden Berührungen noch als gesonderte, wenn auch die Entfernung der Zirkelspitzen nur eine halbe Linie beträgt. Auf der unteren Fläche des letzten Fingergliedes müssen beide Spitzen zu demselben Behufe wenigstens eine Linie, auf dem Handrücken der Quere nach drei bis vier, der Länge nach aber vierzehn Linien, auf der Stirn zehn, auf dem Unterarm achtzehn, auf dem Rücken 24 bis 30 Linien von einander entfernt sein. Dagegen empfindet man auf der Mitte des Oberarms und Oberschenkels beide Berührungen als eine, wenn die Spitzen 30 Linien von einander abstehen. Das in Rede stehende Unter-

scheidungsvermögen ist also an verschiedenen Orten der Körperoberfläche sehr verschieden *).

Hierbei ist vor Allem von Bedeutung die ungleichmäßige Vertheilung der Nervenfasern über die Oberfläche des Leibes, und insbesondere daß jede Nervenfaser durch eine Biegung und Theilung ihres Endes einem Hautstückchen von bestimmter Größe Empfindlichkeit verleiht. Zwei Berührungen der Haut werden aber nur dann unterschieden, wenn sie verschiedene Nervenfasern afficiren. Die Berührung eines jeden Punktes in dem Verbreitungsbezirke einer Faser wird zwar empfunden, aber nicht unterschieden von den Berührungen anderer Punkte desselben Bezirks. Alsdann ist zur Unterscheidung zweier Tastempfindungen noch erforderlich, daß die berührten Bezirke (Empfindungskreise) durch andere zwischenliegende von einander getrennt sind. Die Schärfe oder Feinheit des Unterscheidungsvermögens hängt nun hiernach davon ab, wie viele Primitivfasern auf einer gewissen Flächeneinheit, z. B. auf der Quadratlinie, beisammen liegen. Je dichter diese Fasern bei einander liegen, desto weiter scheinen uns auf der Haut die beiden Zirkelspitzen unter sonst gleichen Umständen aus einander zu stehen.

Die Vorstellung von der Gestalt, Größe und Lage der betasteten Gegenstände resultirt erst im Centralorgane aus dem Complex zahlreicher Tastempfindungen, welche namentlich durch die Bewegung der Finger in Verbindung mit den begleitenden Muskelempfindungen gewonnen werden. Und hierbei ist es nicht ohne Bedeutung, daß das Werkzeug des Tastens, die Hand, sowohl im Ganzen als auch in ihren fein gegliederten Theilen gebraucht werden kann.

Der Tastsinn ist auch Täuschungen ausgesetzt, freilich nicht so vielen, als der Gesichtssinn. Eine bekannte, hierher gehörige Täuschung entsteht, wenn man den Zeige- und Mittelfinger kreuzt, indem man den letzteren über den ersteren legt, und nun ein Kügelchen oder ein Stäbchen, oder auch die Nasenspitze zwischen dieselben bringt, so daß der eine oder andere dieser Gegenstände von beiden Fingern zugleich berührt wird; man glaubt dann zwei Körper zu fühlen. Der zwischen den Fingern befindliche Gegenstand wird nämlich jetzt von dem rechten Rande des Mittelfingers und dem linken Rande des Zeigefingers zugleich berührt; was aber von diesen beiden Rändern gleichzeitig berührt wird, das schreibt man bei der natürlichen Lage der Finger zwei Körpern zu, insofern sich mit der gleichzeitigen Berührung dieser Fingerränder die Vorstellung zweier Körper associirt hat, die nun auch auf die ungewohnte Lage dieser Finger unwillkürlich übertragen wird.

Vermittelst des Tastorganes können wir auch zwei ungleiche Gewichte in Folge des ungleichen Druckes, den sie auf dieselbe Stelle der Haut ausüben, unterscheiden. Doch wird diese Unterscheidung nur dann scharf und genau sein, wenn die beiden Körper, deren Gewichte nach einander zu vergleichen sind, mit gleichen Grundflächen aufliegen. Auch müssen sie gleich warm sein und in ihrem Wärmeleitungsvermögen keinen sehr merklichen Unterschied darbieten; denn kältere Körper scheinen uns schwerer zu sein als wärmere von gleichem Gewichte. Um aber die Schätzung der Gewichte lediglich nach ihrem ungleichen Druck auf das Tastwerkzeug zu vollziehen, muß man das letztere auch noch unterstützen, damit keine merk-

*) Vergl. E. H. Weber, Die Lehre vom Tastsinn und Gemeingefühl. Braunschweig 1851.

liche Muskelanstrengung stattfinde. Von der letzteren hat man, wie wir wissen, ein Gefühl, da die Thätigkeit der Muskeln von gewissen Empfindungen (Muskelempfindungen) begleitet ist, die gleichfalls zur Schätzung verschiedener Gewichte, wenn man diese nach einander mit der Hand aufhebt, dienen. Diese Schätzung kann einen hohen Grad von Feinheit erlangen. Auch lernen wir durch dieselben Muskelempfindungen den Grad der Anstrengung kennen, die wir bei Ueberwältigung von mancherlei Hindernissen aufzuwenden haben.

Die Veränderungen, welche die durch den Lebens-, insbesondere durch den Athmungsproceß bedingte normale Temperatur der Haut, in Folge von Entziehung oder Mittheilung von Wärme, erfährt, machen sich uns als Empfindungen des Warmen und Kalten bemerklich. Das hierauf bezügliche Unterscheidungsvermögen ist zwar auch an verschiedenen Stellen unserer Körperoberfläche verschieden aber doch nicht in so auffallender Weise als in Hinsicht der reinen Tastempfindungen. Dagegen ist die Größe der erwärmten oder erkalteten Hautfläche von Bedeutung für die Intensität der betreffenden Empfindung, welche nämlich um so stärker, je größer die afficirte Hautstelle ist. Und bekanntlich ist auch der Wärmegrad unserer eigenen Körperoberfläche von Einfluß auf die Schätzung des Wärmegrades der mit uns in Berührung kommenden Körper; daher wir denn auch dem Wasser eines Brunnens oder einem tiefen Kellerraume im Sommer und Winter eine mitunter beträchtlich ungleiche Temperatur zuschreiben, wenn auch jenes Wasser oder der Kellerraum in beiden Jahreszeiten nur einen in der That sehr geringen Temperaturunterschied darbieten. Dann kommen hier auch noch in Betracht die verschiedene Wärmeleitungsfähigkeit und Wärmecapacität der berührten Körper. Uebersteigt endlich die Mittheilung oder Abgabe der Wärme an einer Hautstelle eine gewisse Grenze, so erhalten wir eine Schmerzempfindung, die von den gewöhnlichen Empfindungen des Warmen und Kalten sehr verschieden ist.

Man hat es versucht, die sämmtlichen Erregungen der Tastnerven auf gewisse Bewegungszustände, oder auf mechanische Wirkungen zurückzuführen, die sich von der afficirten Hautstelle aus den Nervenenden mittheilen. Da nun Mittheilung und Entziehung von Wärme eine Ausdehnung oder Zusammenziehung der nächsten, die Nervenenden umgebenden organischen Gebilde zur Folge hat, so könnten jene Temperaturveränderungen in ähnlicher Weise, wie Druck und Stoß, auf die Nervenfasern wirken, was noch wahrscheinlicher hervortritt, wenn man bedenkt, daß die Wärmeverhältnisse der Körper wahrscheinlicher Weise auch nur ihre Ursache in einer gewissen Bewegung der Atome haben. Dazu kommt noch, daß verschiedene mechanische Einwirkungen, wie Druck, Stoß, oder Stechen und Schneiden unter Umständen dieselbe Schmerzempfindung veranlassen wie eine intensive Wärmeeinwirkung. Anderseits hat man aber auch auf die Ungleichartigkeit der gewöhnlichen Tast- und Wärmeempfindungen aufmerksam gemacht; und nach E. H. Weber ist es zweifelhaft, ob die Wärme- und Druckempfindung als verschiedene Modificationen derselben Empfindung angesehen werden dürfen, und ob wirklich für beide die nämliche Einrichtung bestehe. Beide verhalten sich mitunter sogar entgegengesetzt, da z. B., wie wir bereits oben (S. 907) bei Gelegenheit der Gewichtsbestimmung durch den Tastsinn bemerkt haben, die Empfindung des Drucks mit Abnahme der Wärmeempfindung zunimmt. Doch schließt diese Thatsache wohl keineswegs die Möglichkeit aus, daß auch die Wärmeempfindung durch einen vorausgehenden Bewegungszustand der Massentheilchen der die Nervenenden umgebenden

organischen Gebilde bedingt ist; und man erkennt auch leicht, daß die Bewegungsverhältnisse, welche die Wärmeveränderungen bewirken, von anderer Art sein können und müssen, als diejenigen Bewegungen der Theilchen, welche durch Stoß und Druck veranlaßt werden.

Geschmacksinn. Das wesentliche Organ dieses Sinnes ist die Zunge, die bekanntlich eine außerordentliche Beweglichkeit besitzt und größtentheils aus Muskelfasern besteht, die zu Bündeln geordnet nach fast allen Richtungen mit einander verflochten sind. Dieselbe ist von einer zarten Schleimhaut überzogen und mit Wärzchen (papillae) versehen, welche ihre Spitze, Seitenränder und ihren ganzen Rücken bedecken. Man unterscheidet verschiedene Arten dieser Wärzchen. Auf dem hinteren Theile der Zunge, nahe an der Rachenenge, befinden sich die sogenannten umwallten Wärzchen, und hier verräth sich die feinste Geschmacksempfindung. Diese Wärzchen haben die Gestalt eines abgeplatteten Hügelchens ($^1/_2$ bis 1 Linie Durchmesser und $^1/_4$ bis $^3/_4$ Linie Höhe), das von einer Vertiefung und einer ringwallartigen Erhöhung umgeben ist. Dieselben sind sehr reich an Blutgefäßen und Nerven, welche letztere schlingenförmig umbiegen. Dann giebt es noch keulen- oder fadenförmige Wärzchen, die länger und dünner als die soeben betrachteten sind. Die Oberfläche der keulenförmigen Wärzchen ist überall mit kleinen spitzigen Wärzchen besetzt, zu welchen Nervenfäden gehen. Diese keulenförmigen Wärzchen findet man reichlich an der Zungenspitze. In größter Menge kommen aber die fadenförmigen Wärzchen oder Fortsätze vor, die auf ihrer Spitze auch noch kleinere Wärzchen haben; dieselben sind mit einem starken Zellenüberzuge versehen, der nach außen hin eine hornige Beschaffenheit zeigt und haarähnliche Fäden und pinselartige Fortsätze bildet. Dagegen sind die keulenförmigen und umwallten Wärzchen von einer äußerlich glatten Zellendecke überzogen, in welche die Wärzchen wie in Scheiden hineinragen. Die fadenförmigen Wärzchen sind arm an Nerven und scheinen zur Geschmacksempfindung wenig oder gar nichts beizutragen, sondern der Zunge mehr als schützende Decke und zum Festhalten und Fortbewegen der Speisetheilchen zu dienen.

Man hat die Tastempfindungen der Zunge von den eigentlichen Geschmacksempfindungen derselben zu unterscheiden. Der sogenannte brennende, stechende, zusammenziehende, prickelnde, sandige ꝛc. Geschmack kommt größtentheils auf Rechnung der begleitenden Tastempfindungen. Auch compliciren sich nicht selten Geschmacks- oder Tastempfindungen der Zunge mit Geruchsempfindungen, wie dies bei aromatischen Stoffen der Fall ist. — Die Gefühlsnerven der Zunge, welche zugleich dem Tastsinne der letzteren dienen, kommen wie die der ganzen Mundhöhle von dem fünften Hirnnervenpaar, und es scheint, als ob diese Nerven auch, namentlich im vorderen Theile der Zunge, zur Entstehung der Tastempfindung mitwirkten. Als eigentliche Geschmacksnerven betrachtet man aber die Zweige des neunten Hirnnervenpaares, die sich im hinteren Theil der Zungenschleimhaut und des Gaumengewölbes ausbreiten. Nach Durchschneidung dieser Nerven soll die Empfindung des rein Bitteren nicht mehr statt haben, wie Versuche an Thieren lehrten.

Die Geschmacksempfindungen sind nicht so mannichfaltig als die Geruchsempfindungen, namentlich wenn man die dem Tastsinn der Zunge zukommenden Empfindungen ausschließt. Leicht unterscheidet man die Empfindungen des Süßen, Bittern, Sauern und Salzigen. Auch hat man wohl versucht, die Verschiedenheit

in den Geschmacksempfindungen auf drei einfache Qualitäten: Sauer, Bitter und Salzig zurückzuführen*). — Manche Gegenstände erregen an verschiedenen Stellen der Zunge verschiedene Geschmacksempfindungen, und man hat die Vermuthung ausgesprochen, daß die verschiedenen Zungenwärzchen zur Hervorbringung verschiedenartiger Geschmacksempfindungen eingerichtet seien. So sollen nach Horn**) die umwallten Geschmackswärzchen besonders für das Bittere, die keulenförmigen für das Salzige, und die fadenförmigen für das Saure empfänglich sein.

Wiewohl der Geschmacksinn den Unterschied der Alkalien und Säuren, Salze und Erden darbietet, so liegt doch in den betreffenden Geschmacksempfindungen keineswegs eine Hindeutung auf die Zusammensetzung und das sonstige Verhalten der Stoffe. Manche Körper haben, ungeachtet ihrer verschiedenen chemischen Zusammensetzung, dennoch fast denselben Geschmack, während wieder andere, die in ihrer chemischen Zusammensetzung übereinstimmen, merklich verschieden schmecken. — Ueber die durch den galvanischen Strom erregten Geschmacksempfindungen vergleiche Art. Galvanismus, Bd. III. S. 364.

Zur Erregung der Geschmacksempfindung ist übrigens erforderlich, daß die betreffenden Stoffe entweder von Natur flüssig oder im Speichel löslich sind, damit sie durch die Deckzellen hindurch die Nerven zu afficiren vermögen. Trockenheit der Zunge behindert die Geschmacksempfindung. Die Bewegung der Speise auf der Zunge erhöht die Geschmacksempfindung, und zwar, wie man glaubt, aus dem Grunde, weil dadurch immer andere Zungenwärzchen (Papillen) mit der Speise in Berührung kommen; denn eine längere oder öftere Einwirkung führt zu einer Abstumpfung des Geschmacks, der sonst allerdings auch durch Uebung an Schärfe und Feinheit gewinnt, wenn nämlich derselbe Eindruck häufiger wiederholt und unter Mitwirkung der Aufmerksamkeit lebhafter zum Bewußtsein gebracht wird. Doch müssen dabei die wiederholten einzelnen Eindrücke durch hinreichend lange Zwischenzeiten, die zur Erholung der Zunge dienen, von einander getrennt sein. Bekannt ist auch, daß manche Geschmacksempfindung, wenn sie bald nach einer anderen von ihr verschiedenen eintritt, wie z. B. Süß nach Sauer oder Bitter, und umgekehrt, sich stärker geltend macht.

Der Geschmacksinn ist bei dem Menschen am vollkommensten ausgebildet und erhält sich bis ins hohe Alter, wiewohl es im Verlaufe des Lebens an wechselnden Neigungen für diese oder jene schmeckbaren Stoffe nicht fehlt.

Der Geschmack hat auch seine Nachempfindung, bei der man jedoch Verschiedenes zu unterscheiden hat. Den Nachgeschmack leitet man nämlich theils daraus ab, daß manche Stoffe auf der Spitze der Zunge eine andere Geschmacksempfindung erregen als an ihrer Wurzel, theils bei zusammengesetzten Stoffen daraus, daß sich verschiedene Bestandtheile, weil sie sich in ungleichen Zeiten im Speichel auflösen, nicht gleich schnell die Deckzellen durchdringen und ungleich lange in denselben haften. Erst nach Absonderung dieser Umstände würde der reine Nachgeschmack resultiren, der nach dem Aufhören des primären Reizes zurückbleibt und mehr oder weniger schnell ausklingt.

Es ist bekannt, daß man mit dem Worte Geschmack nicht allein den Sinn

---

*) Vergl. George, Die fünf Sinne. Berlin 1846.

**) Ueber den Geschmacksinn des Menschen. 1825. S. 96.

des Schmeckens bezeichnet, sondern auch die Eigenschaft der Körper, diesen Sinn zu erregen und durch denselben unterschieden zu werden.

Geruchsinn. Der innere Nasenraum, der sich noch über die durch die äußere Nase gebildete Höhle hinaus erstreckt, wird durch eine Scheidewand in zwei Seitenhälften getheilt, welche durch zwei Oeffnungen in den oberen Schlund führen. Mehrere Knochen- und Knorpelstücke, die mit dieser Scheidewand in Verbindung stehen, bilden die Grundlage der äußeren Nase. Drei Knochenblätter, welche über einander mit ihren oberen Rändern befestigt sind und nach unten muschelförmig umbiegen, theilen die Nasenhöhle in mehrere Gänge ab, die durch eine schmale senkrechte Spalte mit einander communiciren und nach hinten eine gemeinsame Mündung gegen die inneren Nasenöffnungen haben. Die innere Fläche der Nasenhöhle ist mit einer Schleimhaut, die viele Blutgefäße enthält, überzogen. Der Riechnerv ist aber das erste Hirnnervenpaar, dessen Fasern sich durch eine Menge feiner Oeffnungen der knöchernen Nasendecke (Siebplatte) in den oberen Theilen der inneren Nase verbreiten. Die unteren Nasentheile enthalten dagegen vorzugsweise die dem fünften Hirnnervenpaare angehörigen Gefühls- oder Tastnerven. Wird der Riechnerv gelähmt oder durchschnitten, so hört die Geruchsempfindung auf, während die Tast- und Schmerzempfindungen der Nase fortbestehen können.

Was nun den Geruch insbesondere anlangt, so sind es Theilchen der sogenannten riechenden oder riechbaren Stoffe, welche in der Luft fein verbreitet den Riechnerven afficiren, wenn sie in die Nasenschleimhaut eindringen; und dies geschieht während des Einathmens, da man nur dann riecht, wenn man die Luft durch die Nase einzieht. Auch ist bei vielen, wenn nicht bei den meisten riechbaren Substanzen dargethan, daß sich Theilchen von ihnen losreißen. Die bekannte Thatsache aber, daß Hunde die Spur des Wildes oder ihres verlorenen Herrn oft meilenweit durch Hülfe des Geruchs verfolgen, hat man daraus zu erklären gesucht, daß die riechenden Substanzen eine länger dauernde Atmosphäre um die festen Körper bilden, und besonders von der lockern Erde (zwischen dem Grase), wo die Luft auch mehr stagnirt, festgehalten werden.

Beim Einziehen der Luft gelangt diese mit den darin verbreiteten Riechstoffen nach der unteren Nasenmuschel, welche den Luftstrom bricht und denselben zur weiteren Ausbreitung in die oberen Theile der Nasenhöhle gelangen läßt. Darum ist auch diese Muschel bei Thieren, die einen scharfen Geruch haben, sehr entwickelt. Uebrigens ist die Geruchsempfindung um so intensiver, je größer die Anzahl der riechenden Theilchen ist, welche vermittelst des in die Nase dringenden Luftstromes mit dem Geruchsorgan in Berührung kommen. Auch die Feuchtigkeit der Nasenschleimhaut ist für die Erregung der Geruchsempfindung wesentlich (die trockne Nase riecht nicht), während andererseits eine reichliche Schleimabsonderung, wie beim Schnupfen, den Geruch behindert.

Manche Empfindungen, welche durch verschiedene flüchtige Stoffe (Salmiakgeist, Senföl ꝛc.) erregt und als stechend, beißend, prickelnd und dergleichen mehr bezeichnet werden, sind von den eigentlichen Geruchsempfindungen noch zu unterscheiden.

Sonst giebt es sehr zahlreiche Klassen von Gerüchen, bei denen jedoch Uebergänge und Stufenleitern gar nicht oder sehr selten vorkommen. — Die Geruchsempfindung, welche durch Einwirkung der Elektricität auf das Geruchsorgan her-

vorgerufen wird, ist wohl nur dem gleichzeitig entwickelten Ozon (s. d. Art.) zuzuschreiben.

Die Geruchsvorstellungen zeichnen sich meist durch Stärke und Lebendigkeit aus und können sich mit anderen Vorstellungen innig associiren, die sie dann auch bei erneuertem Eintreten lebhaft zu reproduciren (wieder zu erwecken) vermögen. Doch leidet die Geruchsempfindung an einer gewissen Undeutlichkeit, und es ist bei ihr, wenn sie klar werden soll, eine längere Einwirkung nöthig als bei dem Gesicht und Gehör. Die Unterscheidungen des Geruches sind noch unbestimmter als die des Geschmacksinnes, was sich schon daraus entnehmen läßt, daß die Geruchsempfindungen theils, wie sauer und süß, nach dem Geschmack, theils, wie Veilchen-, Moschus-, Weingeruch ꝛc., nach den Gegenständen, welche sie verursachen, theils, wie faulig, moderig, von den Processen, durch welche sie hervorgebracht werden, benannt sind, ohne daß die Sprache Wörter gebildet hätte, durch welche unmittelbar die Eigenthümlichkeit ihrer Qualität bezeichnet würde *). Den Geruchsempfindungen kommt aber eben so wie den Geschmacksempfindungen, und fast noch auffallender das Prädicat des Angenehmen und Unangenehmen zu. Man weiß auch, daß Gerüche sowohl einen betäubenden als auch einen belebenden Eindruck auf den Organismus auszuüben vermögen; Gerüche können die Besinnung rauben, dagegen aber auch bei Ohnmachten und dergleichen die verlorne Besinnung wieder herstellen.

Der Geruchsinn des Menschen ist, obschon vielseitiger, doch bekanntlich bei weitem weniger scharf als der vieler Thiere, welche durch denselben in der Wahl ihrer Nahrung geleitet werden. Dieser Sinn entwickelt sich bei dem Menschen später und ist bei ihm auch meist einer baldigen Abstumpfung unterworfen.

Gesichtssinn. Der Gesichtssinn führt uns wie der Tastsinn zur Kenntniß der räumlichen Verhältnisse der Körperwelt; und diese beiden Sinne pflegt man wohl auch die raumentwickelnden Sinne zu nennen. Ja man hat das Sehen sogar ein verklärtes Tasten genannt, und das Gesicht ein Getast in die Ferne; denn das Sehen ist gewissermaßen eine durch das Licht oder vielmehr durch die Oscillationen des Aethers vermittelte feinere Berührung der Körperoberflächen. Doch erreicht das Gesicht in der Auffassung der Gestalten sein Ziel viel schneller als das Getast, wie denn auch dem Auge eine noch größere und leichtere Beweglichkeit als dem Tastwerkzeuge zukommt. Auch ist der Reichthum der Empfindungen, welche das Gesicht liefert, viel größer als der des Tastsinnes, wie leicht erhellt, wenn man sich an den Wechsel von Licht und Schatten, und an die mannichfachen Farbenabstufungen erinnert. Das Auge kann sich überdies für starke und schwache Lichtreize, für nahe und ferne Gegenstände einrichten, und sogar noch mit künstlichen Werkzeugen (Teleskop und Mikroskop) bewaffnet werden, um seine Schärfe und Unterscheidungsfähigkeit zu erhöhen. Durch den Gesichtssinn lernen wir Größe, Gestalt, Entfernung, Lage und Bewegung der Gegenstände am leichtesten kennen; freilich liegt dies Alles nicht unmittelbar im Inhalte der Gesichtsempfindung, sondern wir kommen zu diesen Bestimmungen erst durch Urtheile, die sich der Empfindung hinzugesellen und allerdings rasch von Statten gehen. Die Gesichtsempfindung ist auch zumeist das hervorstechende Merkmal in unseren Vorstellungen der Außendinge, mit welchem die übrigen Sinnesempfindungen mehr oder weniger innig complicirt sind. Und Vieles, was wir auf andere Weise

*) Drobisch, Empirische Psychologie. S. 46.

empfinden, suchen wir der feineren und sichereren, und theilweise auch der bequemeren Schätzung wegen auf Gesichtsempfindungen zurückzuführen. So können wir zwar Gewichte, wie bereits erwähnt ist, auf Grund von Muskelempfindungen mit dem Tastwerkzeuge schätzen, aber gewöhnlich gebrauchen wir zum Messen von Gewichten die Wage, deren Zeiger uns das Gewicht gewissermaßen sichtbar macht. Eben so messen wir die Wärmeveränderungen nicht vermittelst des Gefühls, sondern durch das Auge am Thermometer. Endlich können die Gesichtsempfindungen vermöge ihrer qualitativen Gegensatzgrade, wie sie z. B. bei den Farben vorkommen, bestimmte ästhetische Verhältnisse eingehen. Dazu kommen noch die mannichfachen Symmetrieverhältnisse des Architektonischen und Plastischen, die wir vermittelst des Gesichtssinnes aufzufassen vermögen.

Das Organ des Gesichts oder Sehens ist der kugelförmige Augapfel (bulbus oculi). Derselbe hat seinen Sitz in der kegelförmigen, mit Fett und Zellgewebe reichlich versehenen Augenhöhle, die durch verschiedene Knochen des Schädels und Gesichts gebildet wird. Sechs Muskeln, deren vier gerade, zwei aber schief sich an demselben ansetzen, geben ihm seine große Beweglichkeit nach allen Richtungen hin. Alle entspringen von den knöchernen Wandungen der Augenhöhle, und heften sich mit ihren Sehnen der vorderen Hemisphäre des Augapfels an. Einer zieht ihn nach oben, ein anderer nach unten, einer nach außen, ein anderer nach innen, einer schief aufwärts nach innen, ein anderer schief aufwärts nach außen. Durch die Zusammenwirkung der beiden schiefen Muskeln wird das Auge ein wenig aus seiner Höhle hervorgezogen. Sonst ist die Bewegung des Augapfels eine rollende (um seinen Mittelpunkt). Die genannten Muskeln wirken in beiden Augen im gesunden Zustande gleichförmig, und theilen beiden Augen eine gleichförmige Bewegung mit, so daß, wenn das eine rechts oder links, auf- oder abwärts sieht, das andere zu gleicher Zeit die nämliche Bewegung macht, und nur wenn durch fehlerhafte Gewohnheit oder Krankheit ihre Sympathie gestört wird, richtet sich das eine Auge nach einer anderen Seite, als das andere, und dies ist es, was man Schielen nennt. Diese Gleichförmigkeit in der Bewegung beider Augen ist von Bedeutung für den Umstand, daß wir mit beiden Augen einen Gegenstand einfach sehen; zwingt man eins von beiden Augen durch Druck mit dem Finger oder dergleichen zu einer anderen Richtung, so sieht man den Gegenstand, auf den man vorher die Augen gerichtet hatte, doppelt.

Zum Schutze gegen die Berührung fremder Körper, durch welche das Auge verletzt werden könnte, oder wohl auch gegen das Eindringen allzu starken Lichtes ist es von außen durch die Augenlider bedeckt, welche sich vermöge des gemeinschaftlichen Kreismuskels und des nur dem oberen Augenlide angehörigen Aufhebemuskels sehr schnell öffnen und schließen können. An den Rändern der Augenlider sitzen die Augenwimpern, welche sich beim Verschließen der Augenlider kreuzweise über einander legen, nämlich die oberen nach unten, die unteren nach oben. Auch die Augenbrauen schützen das Auge, indem sie den von der Stirne herabkommenden Schweiß oder Staub abhalten.

Noch ist an dem unteren Rand der Augenlider eine Reihe von Drüsen bemerkbar, die eine ölige Substanz absondern, welche die wässerige Flüssigkeit, die von der auf der inneren Fläche der Augenlider und der vorderen Wölbung des Augapfels befindlichen Schleimhaut (Bindehaut) abgesondert wird, am Herab-

fließen hindert. Diese Flüssigkeit breitet sich durch die Bewegung der Lider auf dem Auge aus und reinigt es von Staub und dergleichen.

Der kleine rothe Punkt im innern Augenwinkel ist das Thränenwärzchen, neben welchem sich zwei ganz feine Oeffnungen, die Thränenpunkte, in jedem Augenlide einer, befinden, die die überflüssigen Thränen, welche aus der in der Augenhöhle liegenden Thränendrüse durch sechs bis acht feine Abführungsgänge an der inneren Fläche des oberen Augenlides abfließen und sich im Thränensee sammeln, auffaugen und sie durch die Thränengänge in den Thränensack bringen, von wo sie dann durch den Thränencanal in den unteren Nasengang gelangen.

Die einzelnen Häute, welche man am Auge unterscheidet, sind folgende.

Die äußere feste (harte) weiße Faserhaut (sclerotica). Dieselbe bildet die eigentliche Form des Auges, schließt die übrigen Theile des letzteren in sich und dient zur Anheftung der Augenmuskeln. Sie besteht aus dicht verbundenen sehnigen Fasern, und ihr vorderer Theil bildet das Weiße im Auge. Ihre äußere Fläche ist vorn von der Bindehaut (conjunctiva), weiter hinten von Muskeln und Zellgewebe bedeckt; an ihrem hinteren Umfange wird sie von dem Sehnerven und einigen anderen Nerven durchbohrt, und besitzt auch selbst Blutgefäße.

Die durchsichtige Hornhaut oder Hornhaut (cornea) schlechthin befindet sich an dem vorderen Theile des Augapfels und hat eine größere Convexität als der übrige Augapfel; sie ragt daher etwas hervor, so daß das Auge das Ansehen einer Kugel erhält, an deren vorderer Seite ein Abschnitt einer kleineren Kugel befestigt ist. Die Hornhaut ist etwas dicker als die vorbeschriebene harte Faserhaut, an welche sie angeheftet ist, und besteht aus mehreren über einander liegenden durchsichtigen Blättchen. Die harte Haut und Hornhaut als erste Hautlage des Augapfels geben demselben seine eigentliche Gestalt.

Die innere Fläche der harten Haut bis zum Rande der Hornhaut ist mit einem zarten, schwärzlichen Zellgewebe und einer aus einem Netze zahlreicher kleiner Blutgefäße bestehenden Haut, der Ader- oder Gefäßhaut (choroidea) bekleidet. Diese wird in der Nähe ihres vorderen Randes dicker, und ist durch festes Zellgewebe, welches der äußeren Oberfläche das Ansehen eines weißen Ringes (Strahlenband) giebt, an den vordersten Theil der harten Haut befestigt. Von dem Strahlenbande erstrecken sich viele sehr gefäßreiche, strahlenförmige Fortsätze (processus ciliares), die den sogenannten Strahlenkranz (corpus ciliare) bilden, ins Innere des Auges hinein.

Die Regenbogenhaut (iris) oder Blendung liegt hinter der Hornhaut, ungefähr wie das Zifferblatt einer Uhr hinter dem Uhrglase, und hat nahe in ihrer Mitte zum Durchgange der Lichtstrahlen eine kreisrunde Oeffnung, die Pupille oder das Sehloch. Dieselbe steht durch Gefäße und Zellgewebe mit dem Strahlenkranz in Verbindung, und besteht fast ganz aus Blutgefäßen und Nerven, die durch zartes Zellgewebe mit einander verbunden sind.

Die ganze innere Fläche der Gefäßhaut bis zum Rande der Pupille ist mit einer aus sehr kleinen sechseckigen Zellen gebildeten Schicht versehen, in welcher sich undurchsichtige Körnchen befinden, die dieser Schicht (membrana pigmenti) eine schwarze Farbe (pigmentum nigrum) verleihen. Die Regenbogenhaut erhält ihre Farbe theils durch diese schwarzen Zellen, welche durch ihr halbdurchsichtiges Gewebe hindurchschimmern, theils durch anderen Farbstoff, der während des Lebens

in ihrem Gewebe abgelagert wird. Befindet sich nur in den Zellen Farbstoff, so erscheint die Regenbogenhaut (Iris) gewöhnlich blau, sonst auch in anderen Farben, und es ist bekannt, daß sie in Bezug auf die Farbe sehr verschieden ist, bald blau, bald grau, bald grünlich, bald braun, heller oder dunkler gefärbt. Im Allgemeinen ist sie bei den nördlicheren Völkern heller gefärbt, als bei den südlichen; eben so zeigt sie nicht selten in der Jugend eine dunklere Färbung als in späteren Jahren. Zuweilen bemerkt man eine verschiedene Färbung bei einem und demselben Subject. Manchmal sind die Farben der Regenbogenhaut stellenweise aufgetragen, wodurch sie ein marmorirtes Ansehen erhält. Zuweilen fehlen auch die Farbstoffkörnchen in den Zellen, wie dies bei den sogenannten Albinos (Kakerlaken), weißen Kaninchen rc. der Fall ist; die Iris zeigt dann eine blaßrothe Färbung, die von dem durchscheinenden Blute der Gefäße herrührt.

Die Nervenhaut oder Netzhaut (retina) ist eine Ausbreitung des Sehnerven (zweites Hirnnervenpaar) auf der hinteren Kugelfläche des Auges. Die Sehnerven beider Augen treten nach ihrem Austritte aus dem Gehirn und vor ihrem Eintritt in die Augenhöhlen an der sogenannten Kreuzungsstelle zusammen.

Nun geht von den Fasern eines jeden dieser Nervenstämme ein Theil nach dem entsprechenden Auge, ein anderer Theil aber in den Stamm der anderen Seite, während wieder andere Fasern an der Kreuzungsstelle Schlingen bilden sollen, die entweder auf beiden Seiten nach hinten zum Gehirn, oder nach vorn zu den Augen gehen. Nachdem der Sehnerv durch den hinteren Theil der harten Haut und Gefäßhaut an einer Stelle, welche etwas von der Augenaxe ($^1/_{10}$'') entfernt nach der Nase zu liegt, eingedrungen ist, breitet er sich an der inneren Seite der Gefäßhaut zu einem feinen netzartigen Gewebe, der Netzhaut oder Retina aus. Die freie Oberfläche der Netzhaut ist von einer sehr dünnen (glashellen) Haut überzogen, die sich vom Rande der Netzhaut bis zum Rande der Pupille fortsetzt. Alsdann bemerkt man noch eine Schicht durchsichtiger Nervenzellen, welche sich verästeln, und zwar so, daß die Aeste theils zu Fasern des Sehnerven gehen, theils sich mit anderen Fasern verbinden, welche die Nervenhaut nahe senkrecht durchsetzen. Die letzterwähnten sehr dünnen Fasern berühren mit ihrem einen Ende, das etwas verdickt ist, die obige glashelle Grenzhaut der Retina, während ihr anderes Ende vermittelst heller cylindrischer oder auch kegelförmiger Körperchen, der sogenannten Stäbchen und Zäpfchen, zu der Zellenschicht der Gefäßhaut geht. Diese Stäbchen und Zapfen bilden nun, indem sie dicht zusammenstehen, eine Schicht, die sich bis an den Rand der Strahlenfortsätze erstreckt, und nur an der Eintrittsstelle des Sehnerven nicht vorhanden ist. Im sogenannten gelben Fleck der Netzhaut, welcher sich in der Mitte des Augengrundes der Mitte der Hornhaut und der Pupille gegenüber befindet, rechnet man auf den Raum einer halben Quadratlinie 40000 bis 50000 solcher Zäpfchen. Dieser gelbe Fleck soll sein Dasein oder vielmehr seine Farbe dem langen Eindruck des Lichtes verdanken, da er gerade am meisten der Lichteinwirkung ausgesetzt ist. Die Stäbchen und Zäpfchen kann man als diejenigen Nerventheile betrachten, welche durch das Licht oder durch die Oscillationen des Aethers zunächst erregt werden, und vermittelst der Sehnervenfasern, in welche sie übergehen, im Centralorgan die Gesichtsempfindung veranlassen. Jedes Zäpfchen steht, wie mikroskopische Untersuchungen von Kölliker und Müller (in Würzburg) gelehrt haben, durch eine Nervenfaser

mit dem Gehirn in Verbindung. Im gelben Fleck, wo die Zäpfchen sehr dicht bei einander stehen, ist die Lichtempfindlichkeit und die Schärfe des Unterscheidungsvermögens am größten, während diese immer geringer werden auf dem seitlichen Theile der Retina, wo die Stäbchen untermengt mit einer kleineren Anzahl von Zäpfchen vorkommen, und überdies noch vier oder fünf Stäbchen gewöhnlich durch eine Nervenfaser mit dem Gehirn communiciren. — Die Netzhaut erscheint während des Lebens als ein durchsichtiges, im Tode als ein weißes oder weißliches Häutchen.

Alle Erregungen der Sehnerven, mögen dieselben nun durch die Wellenbewegung des Aethers oder durch andere mechanische Einwirkungen, etwa durch Druck und Stoß auf das Auge, oder durch elektrische Reizung veranlaßt werden, haben stets nur Lichtempfindungen zur Folge. Schmerz- und Tastempfindungen des Auges werden dagegen durch gewisse Gefühlsnerven, die vom fünften Hirnnervenpaar kommen, vermittelt. Die Bewegungsnerven des Auges, nämlich seiner Muskeln und der Regenbogenhaut, entspringen theils aus dem dritten Hirnnervenpaar, theils aus dem oberen Rückenmark. Die vom letzteren kommenden geben auf ihrem Wege durch eine Anhäufung von Nervenzellen (Nervenknoten, Ganglion), durchdringen die harte Haut und ziehen sich nach dem Ciliarkörper hin, von wo sie in Verzweigungen an die hintere Fläche der Iris treten und sich dann strahlenförmig nach dem Pupillenrand der Iris verbreiten. Durch jenen Nervenknoten stehen dieselben auch in Beziehung zu den Nerven der Verdauungsorgane. — Vermöge der meist unwillkürlichen Beweglichkeit der Iris wird bald eine größere, bald eine geringere abgegrenzte Menge von Lichtstrahlen durch die Pupille gelassen. In der Dunkelheit und beim Sehen in die Ferne, wobei die Augen so gedreht werden, daß die Augenaxen mehr oder weniger parallel werden, so wie auch durch den Einfluß mehrerer sogenannter narkotischer Mittel, z. B. des Saftes des Bilsenkrautes, der Tollkirsche, des Stechapfels rc., wird die Regenbogenhaut schmal, wodurch die Pupille größer wird und so einer größeren Menge von Lichtstrahlen der Weg in das Auge offen steht. Im Hellen, beim Sehen naher Gegenstände, oder wenn die Augen sonst willkürlich so gedreht werden, daß ihre Axen mehr convergiren, endlich im Schlafe wird die Iris breit und folglich die Pupille klein, um so die überflüssigen oder schädlichen Strahlen abzuhalten. Aus dieser Ursache ist man, wenn man aus einem dunklen Orte in einen hellen kommt, zwar anfangs mehr oder weniger geblendet, allmälig hört aber diese Unbequemlichkeit auf, indem nämlich die Pupille anfangs erweitert ist, und zu viele Lichtstrahlen ins Auge gelangen läßt, nach und nach sich aber so verengt, daß nur die zum Sehen nöthigen durchdringen können. So sehen wir in der Dunkelheit anfangs schlechter als nach einiger Zeit, weil die Pupille sich erst gehörig ausdehnen muß, um recht viele der schwachen Lichtstrahlen in das Auge einlassen zu können.

Von den beschriebenen Häuten des Augapfels wird ein hohler Raum gebildet, der die lichtbrechenden Mittel des Auges enthält, nämlich die wässerige Feuchtigkeit, die Krystalllinse und den Glaskörper.

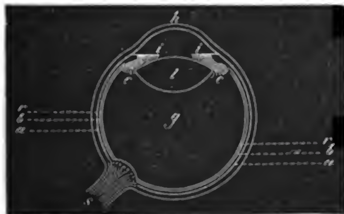
Die Krystalllinse, welche die Höhlung des Auges gewissermaßen in zwei ungleich große Kammern, in eine kleinere vordere und in eine viel größere hintere theilt, liegt in einem zarten durchsichtigen Häutchen, der sogenannten Linsenkapsel, und wird von dem Strahlenkranze gehalten. Dieselbe hat eine biconvexe Gestalt, jedoch so, daß ihre hintere Fläche stärker als ihre vordere gekrümmt ist. — Sie

ist ein krystallheller, farbloser Körper, der sich jedoch im hohen Alter von der Mitte aus gelblich färben soll. Ihre Dichte nimmt von außen nach der Mitte hin zu. In Mineralsäuren und durch Kochen verdickt sie sich und wird hart; sie läßt sich dann in viele Blätter und Schichten (Lamellen) zertheilen, deren Festigkeit gegen die Mitte nach dem Kern hin zunimmt. Auch hat man in diesen Schichten Fasern wahrgenommen. Nach Brewster *) ist das Brechungsverhältniß der Krystalllinse in den äußeren Theilen 1,3767, in den mittleren Theilen 1,3786, und im Centrum 1,3990.

Die wässerige Feuchtigkeit (humor aqueus) ist in dem Raume zwischen der Hornhaut und Regenbogenhaut, und in dem Raume zwischen der Regenbogenhaut, der Linse und den strahlenförmigen Fortsätzen, die sich am Rande der Linse befestigen, enthalten. Sie ist wasserhell, farblos und besteht größtentheils aus Wasser mit einer Auflösung einer geringen Menge verschiedener Salze und sehr wenig Eiweiß. Ihr Brechungsverhältniß ist nach Brewster 1,3366.

Der Glaskörper oder die gläserne Feuchtigkeit (humor vitreus) füllt den größten Theil der Augenhöhle, wird von der Nervenhaut umgeben, und ist bis auf eine flach vertiefte Stelle, in welcher vorn die Krystalllinse liegt, fast kugelrund. Derselbe ist von einer sehr zarten und durchsichtigen Haut, der Glashaut, umschlossen, die sich nach innen fortsetzt und viele kleine und durchsichtige Zellen bildet, welche mit der durchsichtigen, gallertartigen Glasfeuchtigkeit angefüllt sind. Man bezeichnet wohl auch die Structur dieser Feuchtigkeit als strahligfaserig und membranös-zellig. Vorn theilt sich die Glashaut in zwei Blätter, das eine geht als feines Häutchen zwischen dem Strahlenkörper (corpus ciliare) und der gläsernen Feuchtigkeit bis an die Krystalllinse und fügt sich in deren Kapsel ein, das andere kleidet die Vertiefung aus, welche die Krystalllinse nach hinten aufnimmt. — Brewster fand das Brechungsverhältniß der gläsernen Feuchtigkeit = 1,3394, und Papenheim **) dasselbe für die vordere Schicht dieser Feuchtigkeit = 1,3339 und 1,3343, für die hintere = 1,3371.

Die beistehende Figur stellt einen senkrechten Durchschnitt des menschlichen Auges dar. h ist die Hornhaut, i die Regenbogenhaut mit der Pupille, c der Strahlen- oder Faltenkranz, l die Krystalllinse; der Raum vor der letzteren ist mit der wässerigen, der größere kugelförmige Raum g hinter derselben mit der Glasfeuchtigkeit angefüllt. a ist die beiderseits sich bis zur Hornhaut erstreckende weiße Faserhaut, b die Gefäßhaut, r die Nerven- oder Netzhaut, s die Eintrittsstelle des Sehnerven.



Uebrigens sind weder die beiden Flächen der Krystalllinse, noch die Krümmung der Hornhaut genau kreisförmig, obschon man diejenigen Theile dieser

*) Edinb. Phil. Journ. 1819. No. 1. p. 47. Ann. de Chim. et de Phys. T. XI. p. 330.

**) Compt. rend. T. XXV. p. 901.

Flächen, welche bei der Herstellung der Bilder auf der Netzhaut in Betracht kommen, wohl als kreisförmig annehmen kann. Die Dimensionen des Auges und seiner verschiedenen Theile sind von Krause*) einer genaueren Messung unterworfen worden. Derselbe nahm frische Augen von Menschen, die eines gewaltsamen Todes gestorben waren, durchschnitt sie in Wasser, das mit etwas Eiweiß vermischt war, und brachte sie dann unter ein aplanatisches Mikroskop von 5,5 Linien Sehfeld und zwölfmaliger Vergrößerung, um die Dimensionen unter Anwendung mikrometrischer Vorrichtungen zu ermitteln. Es wurden acht verschiedene Augen untersucht, und folgende numerische Werthe (in Pariser Linien) erhalten. Aus den gemessenen Abscissen und Ordinaten wurden die Radien, Parameter und Axen nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet.

Augapfel.

Nr.	Axe des Auges		Durchmesser					
	äußere	innere	transversale	senkrechter äußerer	senkrechter innerer	diagonaler großer äußerer	diagonaler großer innerer	diagonaler kleiner
I.	10,9	9,85	10,9	10,8	9,9	11,25	10,3	
II.	11,05	10,0		10,3	9,4	11,1	10,2	11,05
III.	10,7	9,8	10,7	10,5	9,6	11,0	10,2	10,6
IV.	10,5	9,5	10,6	10,3	9,5	10,9	10,1	10,7
V.	10,8	9,55	10,9	10,55	9,6	11,3	10,35	11,0
VI.	10,8	9,55	11,0	10,6	9,45	11,3	10,2	11,1
VII.	10,65	9,4	10,75	10,3	9,45	10,7	9,6	10,75
VIII.	10,65	9,45	10,75	10,3	9,15	10,9	9,75	10,7

Hornhaut.

Nr.	Dicke		Vorderfläche					Hinterfläche	
	in der Mitte	am Rande	Sehne senkrechte	Sehne transversale	Sehne diagonale	Radius = r	größter Bogen	Sehne	Parameter = p
I.	0,4	0,5		4,6		4,38	63° 21	5,1	6,11
II.	0,35	0,5	4,8	5,3	4,9	4,12	80 3	5,0	[illegible]
III.	0,4	0,5		5,0		3,67	83 52	5,1	[illegible]
IV.	0,4	0,45	4,7	5,2		3,91	83 21	5,2	6,22
V.	0,5	0,55	4,4	5,0	4,9	3,84	81 14	5,0	6,18
VI.	0,48	0,53	4,4	5,0	4,9	3,78	82 48	5,0	5,59
VII.	0,53	0,63	4,2	4,7	4,4	3,86	75 0	5,0	5,51
VIII.	0,5	0,62	4,2	4,6	4,4	3,72	76 23	4,9	4,31

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 527; vergl. auch Bd. XXXI. S. 93.

Nr.	Sclerotica			Faltenkranz		Blendung			
	Dicke					Breite der		Pupille	
	in der Augenaxe	am mittleren Umfange des Augapfels	am vordern Rande	Durchmesser des Faltenkranzes	Entfernung von der Hornhaut	innern Hälfte	äußeren Hälfte	Durchmesser	Entfernung von der Hornhaut
I.	0,55	0,45	0,35	4,2	1,55	1,7	1,9	1,8	1,0
II.	0,5	0,35		4,6	1,70	1,5	1,75	2,25	1,15
III.	0,45	0,4	0,35	4,4		1,1	1,4	2,6	1,25
IV.	0,5	0,4	0,3	4,5					
V.	0,65	0,4	0,3	4,6	1,55	1,7	1,9	1,4	1,1
VI.	0,65	0,5	0,3	4,6	1,55				1,1
VII.	0,55	0,5	0,4	4,3	1,4	1,6	1,8	1,5	0,9
VIII.	0,6	0,5	0,4	4,3	1,4	1,8	2,0	1,2	0,9

Linse.

Nr.	Durchmesser	Axe			Vorderfläche			Hinterfläche	
		der ganzen Linse	der vorderen Hälfte	der hinteren Hälfte	halbe große Axe = a	halbe kleine Axe = b	Entfernung von der Hornhaut	Parameter = p	Entfernung von der Retina
I.	4,1	2	0,85	1,15	2,05	0,95	1,2	4,49	6,65
II.	4	1,9	0,78	1,1	2	0,91	1,35	4,99	6,8
III.	4,1	2,4	0,98	1,42	2	1,14	1,25	4,99	6,1
IV.	4,1	2,2	0,95	1,25	2,05	1,10	1,35	4,51	5,9
V.	4	1,83	0,65	1,2	2,03	0,83	1,25	4,83	6,1
VI.	4,1	2,35	0,8	1,55	1,95	0,98	1,2	4,53	6,0
VII.	4	1,8	0,78	1,02	2,03	0,95	1	4,09	6,65
VIII.	4	1,85	0,85	1	2	0,94	1	3,79	6,55

Hintere Wölbung.

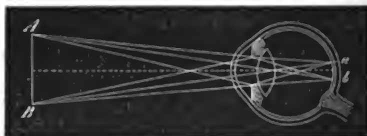
Nr.	Axe des Ellipsoids der hinteren Wölbung der Retina		Nr.	Axe des Ellipsoids der hinteren Wölbung der Retina	
	halbe große	halbe kleine		halbe große	halbe kleine
I.	5,12	4,15	V.	5,14	4,58
II.	5,05	4,15	VI.	5,05	4,43
III.	5,12	4,23	VII.	5,05	4,41
IV.	5,07	4,41	VIII.	4,93	4,19

Krause hielt es für unstatthaft, Mittelzahlen aus den gefundenen Dimensionen zu ziehen. Jedes Auge hat, wie sich aus der Tabelle erkennen läßt, in

allen seinen Theilen seine eigenen Dimensionen und Krümmungen, die von denen anderer Augen oft beträchtlich abweichen, und hierin liegt es auch zum Theil, daß die meisten Menschen mit einem Auge besser sehen als mit dem anderen, oder daß das eine Auge vor dem anderen gewisse Vorzüge und zugleich gewisse Mängel besitzen kann. Bei einigen Augen findet sich in den Krümmungen der Flächen der Hornhaut und der Linse eine ziemliche Uebereinstimmung; bei anderen scheint aber die stärkere Krümmung der einen Fläche durch eine flachere Krümmung einer anderen Fläche ausgeglichen zu werden.

Die Wahrscheinlichkeit, daß die Vorderfläche der Linse nach einer Ellipse sich krümme, fand Krause *) zehnmal größer, als daß diese Curve ein Kreis sei.

Nehmen wir nun einen leuchtenden Gegenstand A B an (s. beistehende Figur), welcher dem Auge Licht zusendet, so müssen die durch die Hornhaut und wässerige Feuchtigkeit gebrochenen und dann durch die Pupille gehenden Strahlen in der Linse eine zweite Brechung erfahren, so daß sie auf der Netzhaut wieder vereinigt werden und hier ein verkehrtes Bildchen b a des Gegenstandes geben. Diejenigen Strahlen aber, welche die weiße Haut treffen, werden von dieser zerstreut; und auch solche Strahlen, welche auf die Iris selbst fallen, erleiden hier eine unregelmäßige Zerstreuung, wodurch eben die Farbe dieser Haut sichtbar wird. Die Reflexion des Lichtes im Innern des Auges, durch welche die Reinheit und Schärfe des Bildes auf der Netzhaut beeinträchtigt werden könnte, wird durch das schwarze Pigment verhindert, welches die innere Seite der Gefäßhaut überkleidet. Für die Erzeugung des Netzhautbildchens sind vorzugsweise die nahe an der Axe der Linse liegenden Strahlen, nämlich die sogenannten centralen Strahlen von Bedeutung, während diejenigen Lichtstrahlen, welche zu nahe auf den Rand der Linse auffallen würden, von der Iris (Blendung) abgehalten werden. Indessen kommt hierbei, wenigstens wenn bei schwachem Lichte die Pupille weit geöffnet ist, auch noch der schichtenförmige Bau der Linse, nämlich die nach innen hin zunehmende Dichtigkeit derselben in Betracht, in Folge dessen die Randstrahlen eine geringere Brechung, als sonst der Fall sein würde, erleiden und eher mit den mittleren Strahlen vereinigt werden können.

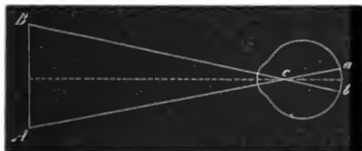


Von der Existenz und wirklich verkehrten Lage des Netzhautbildchens kann man sich leicht an dem Auge eines weißen Kaninchens überzeugen, weil demselben das schwarze Pigment fehlt, aber auch an einem frischen Ochsenauge, wenn man dieses von allem Fette befreit und die weiße Haut so weit verdünnt, daß sie durchscheinend wird, wo man dann auf der Netzhaut ein verkehrtes Bildchen wahrnimmt, wenn man einen hell leuchtenden Gegenstand vor die Hornhaut stellt. Kepler **) bezeichnete zuerst mit Bestimmtheit die Netzhaut als die Fläche, auf

*) a. a. O. S. 541.
**) Paralipomena ad Vitellionem. Frankf. 1604. cap. 5. Diopt. prop. 60.

welche die durch die Krystalllinse nach optischen Regeln erzeugten Bilder fielen, und Scheiner *) bestätigte dies (im Jahre 1625) an Augen von Ochsen und Schafen, so wie auch an einem menschlichen Auge, indem er die hinteren Häute ablösete, und dann die Bilder der Gegenstände auf der Netzhaut wahrnahm.

Eine gerade Linie, welche durch die Mitte der Hornhaut und des Augapfels nach der Mitte der Netzhaut gerichtet ist, nennt man die Axe des Auges. Denkt man sich nun von den verschiedenen Punkten des Netzhautbildes gerade Linien nach den entsprechenden Punkten des gesehenen Gegenstandes gezogen, so schneiden sich diese Linien im Innern des Auges in einem Punkte der Axe, der, wie Volkmann **) durch Versuche nachgewiesen hat, ein wenig (im Mittel etwa 2 Lin.) hinter der Linse liegt, und der Kreuzungspunkt dieser Linien genannt wird.



Ist AB der leuchtende Gegenstand, so ist ab sein verkehrtes Bild auf der Netzhaut, dessen Größe von dem Winkel AcB = acb abhängt, welchen die von den Punkten A und B ausgehenden Grenzlinien miteinander machen. Die Geraden Aa und Bb nennt man auch die Richtungslinien (Sehlinien, für die Punkte A und B), deren Durchschnittspunkt c der Kreuzungspunkt ist. Um die Lage des letzteren genauer zu ermitteln, benutzte Volkmann eine eigene Vorrichtung unter dem Namen eines Gesichtswinkelmessers. Auch suchte Volkmann nachzuweisen, daß dieser Kreuzungspunkt der Drehpunkt des Auges sei, um welchen sich das letztere bei allen seinen Bewegungen drehe. Diesem wurde jedoch von Einigen widersprochen ***).

Der Winkel AcB ist der sog. Gesichts- oder Sehwinkel, und dieser Winkel ist ein Maaß für die scheinbare Größe des gesehenen Gegenstandes. Man erkennt leicht, daß die Größe des Sehwinkels mit der absoluten Größe des Gegenstandes im directen und mit der Entfernung des letzteren vom Auge im umgekehrten Verhältnisse steht. Damit nun ein Gegenstand deutlich gesehen werde, ist ein scharfes Bild desselben auf der Netzhaut erforderlich; die vom Gegenstande ausgehenden und durch die Feuchtigkeiten des Auges gebrochenen Strahlen müssen also gerade auf der Netzhaut vereinigt werden. Nimmt man nun die Einrichtung des Auges als unveränderlich an, so verhält es sich hier wie mit den Bildern einer Sammellinse, die ihre Lage oder ihren Ort mit der Entfernung der Gegenstände von der Linse verändern; es könnten daher auch nur von Gegenständen, die eine gewisse Entfernung vom Auge haben, die Bilder gerade auf die Netzhaut fallen. Nun weiß man aber, daß man Gegenstände in sehr verschiedenen Entfernungen

*) Oculus, sive fundamentum opticum, in quo radius visualis eruitur, sive visioni in oculo sedes decernitur, et anguli visorii ingenium reperitur. Lond. 1652. p. 176 ff.

**) Neue Beiträge zur Physiologie d. Gesichtssinnes. Leipzig 1836. S. 24 ff. Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 342.

***) Mile in Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 37; Knochenhauer Bd. XLVI. S. 248; gegen Mile vergl. Volkmann ebend. Bd. XLV. S. 207; vergl. auch Stamm ebend. Bd. LVII. S. 346.

deutlich sehen kann; das Auge muß sich also den verschiedenen Entfernungen der zu sehenden Gegenstände anpassen, oder sich dergestalt verändern können, daß die von diesen Gegenständen kommenden Lichtstrahlen in ihm so gebrochen werden, daß sie sich auf der Netzhaut zu scharfen Bildern vereinigen. Diese Fähigkeit des Auges hat freilich ihre Grenzen, wovon man sich leicht überzeugt, wenn man einen Gegenstand, z. B. einen Stecknadelkopf, zu nahe vor das Auge bringt. In diesem Falle ist das Auge nicht mehr im Stande, zu bewirken, daß das Bild gerade auf die Netzhaut fällt; die Strahlen vereinigen sich hinter der Netzhaut, während auf dieser selbst statt eines scharfen Bildes einzelne, sich mehr oder weniger deckende Zerstreuungskreise entstehen, welche keine scharfe Unterscheidung zulassen, indem verschiedene Punkte des Gegenstandes ihre Strahlen einer und derselben Netzhautstelle zusenden. Je näher der Gegenstand dem Auge kommt, desto weiter fallen die Vereinigungspunkte der Strahlen hinter die Netzhaut. Man nennt nun die Fähigkeit des Auges, sich innerhalb gewisser Grenzen nacheinander den verschiedenen Entfernungen der Gegenstände anzupassen oder für diese Entfernungen so einzurichten, daß scharfe Bilder auf der Netzhaut entstehen, das Anpassungs- oder Einrichtungs- (Adjustirungs-, Accommodations-, Adaptions-) Vermögen des Auges*). Daß bei zu großer und geringer Entfernung der Gegenstände vom Auge die erzeugten Bilder bei unverändertem Auge vor oder hinter die Netzhaut fallen, und daß in beiden Fällen ein deutliches Sehen ohne Accommodationsvermögen des Auges nicht möglich ist, hat auch Gerling**) durch Versuche an Ochsen- oder Pferdeaugen dargethan, indem er im Hintergrunde derselben an die Stelle der Netzhaut ein kleines, dünnes Glasblättchen brachte, auf welchem sich die Bilder äußerer Gegenstände scharf darstellten und mittelst einer Loupe betrachtet werden konnten. Es zeigte sich nun, daß die Bilder entfernter Gegenstände auf dieses Blättchen oder in das Innere des Auges vor dasselbe, die Bilder naher Gegenstände aber hinter die Netzhaut fielen.

Auch aus einem bekannten, zuerst von Scheiner und Porterfield***) angestellten Versuche läßt sich entnehmen****), daß es für das Auge ein sog. Accommodationsvermögen geben müsse, wenn dasselbe innerhalb gewisser Grenzen nahe und ferne Gegenstände deutlich sehen soll. Dieser Versuch besteht darin, daß man in ein Kartenblatt zwei feine Nadellöcher macht, deren Abstand etwas kleiner ist als der Durchmesser der Pupille, und sie dann dicht vor ein Auge hält, um durch dieselben nach einem nahe befindlichen Gegenstand, etwa nach einem Stecknadelkopf, zu sehen. Der letztere erscheint dann doppelt. Hier sendet nämlich der Gegenstand durch die beiden Oeffnungen zwei feine Lichtstrahlenbündel ins Auge, welche die Netzhaut in zwei verschiedenen Punkten afficiren. Je mehr sich aber der Gegenstand entfernt, desto näher rücken die beiden Netzhautbilder zusammen, so daß sie, wenn sich der Gegenstand in der Weite des deutlichen Sehens (s. d. Art. Sehen) befindet, zusammenfallen. Sieht man aber durch die beiden Oeffnungen nach einem entfernten Gegenstande, so durchschneiden sich die beiden Licht-

*) Vergl. bezüglich des Weiteren hierüber den Art. Sehen oben S. 833 ff., und in Rücksicht der Ursache dieses Vermögens auch den Art. Irradiation Bd. IV. S. 135.
**) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 243.
***) On the Eye I. Edinb. Med. Ess. IV. 185.
****) Vergl. Volkmann in Pogg. Ann. Bd XLV S. 193.

bündel, welche durch die Löcher ins Auge dringen, vor der Netzhaut, und da sie von ihrem Durchschnittspunkte aus nach zwei verschiedenen Punkten der Netzhaut divergiren, so müssen wieder zwei Bilder des Gegenstandes entstehen *).

Befindet sich ein Gegenstand in der Weite des deutlichen Sehens oder hat sich das Auge seiner Entfernung angepaßt, so wissen wir, daß ein deutliches Bild desselben auf der Netzhaut entsteht, indem die von irgend einem Punkte ausgehenden Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch das Auge wieder in einem Punkte der Netzhaut vereinigt werden.

Wir bemerken hier beiläufig, daß Vallée **) auf Grund der Messungen Krause's über die Dimensionen des Auges darzuthun suchte, daß die nach vorn convexen Flächen des Auges eine, wie er sagt, optoidale Gestalt, nämlich eine solche Gestalt hätten, welche Brennpunkte frei von Abweichungen gebe. Auch die hintern convexen Flächen sollen diese Gestalt annäherungsweise besitzen, und als vollkommen optoidal für diejenigen Stellen betrachtet werden können, an welchen sie von den ins Auge gelangenden Lichtstrahlen getroffen werden. Alsdann machte er ***) Anwendung von dem Satze, daß in einem System brechender Flächen eine immer so gewählt werden kann, daß die auf diese Flächen fallenden Lichtstrahlen bei ihrem Austritte aus dem System in einem Brennpunkte zusammentreffen. Hiernach sei das Auge befähigt, durch die Thätigkeit seiner Muskeln der Hornhaut jedesmal die Gestalt zu geben (?), welche ein deutliches Bild auf der Netzhaut bei sonst unverändertem Augenapparate hervorzubringen vermöge. Auch brauchten in Folge der optoidalen Gestalt der übrigen Flächen des Auges die betreffenden Modificationen in der Gestalt der Hornhaut nur sehr unbedeutend zu sein.

Das menschliche Auge ist indeß weder von der sphärischen, noch von der chromatischen Abweichung (s. Abweichung Bd. I. S. 99) vollkommen frei. Als einen der entscheidendsten Beweise für das Vorhandensein der sphärischen Abweichung führt H. Meyer ****) den Umstand an, daß ein zwischen dem Auge und einem entfernten leuchtenden Punkte vorbeigeführter Faden am Rande des vergrößerten Bildes nicht gerade sich darstellt, sondern oben und unten nach außen gebogen ist. Eine ähnliche Biegung läßt sich nach demselben auch wahrnehmen, wenn man einen kleinen leuchtenden Punkt (ein mit einer kleinen Oeffnung versehener Pappschirm vor die Glocke einer Studirlampe gestellt) innerhalb der deutlichen Sehweite betrachtet und unmittelbar vor dem Auge mit einem Faden vorbeigeht. Die durch denselben in der hellen Scheibe verursachte dunkle Linie stellt sich nur in der Mitte der Scheibe gerade dar, nach den Rändern zu erscheint sie oben und unten einwärts gebogen †).

Obschon die Bilder der Gegenstände in der Entfernung des deutlichen Sehens (bei wohl accommodirtem Auge) achromatisch, d. h. ohne farbige Ränder erscheinen, so fehlt es doch nicht an Beispielen, welche beweisen, daß das menschliche Auge

*) Vergl. auch den Art. Irradiation Bd. IV. S. 136.
**) Compt. rend. T. XXIV. p. 676.
***) Compt. rend. T. XXV. p. 501.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 540. 547. S. auch Art. Irradiation Bd. IV. S. 132 ff. 136.
†) Vergl. Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 607.

nicht vollkommen achromatisch ist. Betrachtet man z. B. eine weiße Scheibe auf schwarzem Grunde mit einem Auge, welches auf das Sehen eines näheren oder ferneren Gegenstandes eingerichtet ist, oder mit beiden Augen, deren Axen sich in einem näheren oder ferneren Punkte schneiden, so erblickt man farbige Ränder *). Den unvollkommenen Achromatismus des Auges bezeugt auch folgende Erscheinung, die von Dove, Stokes, Haidinger und Plateau hervorgehoben wurde **). Sieht man nämlich nach einem hellen, wohlbegrenzten Gegenstand (Licht, Sonnenscheibe) durch ein tiefblaues Glas oder durch eine Verbindung mehrerer solcher Gläser, welche nur den äußersten rothen und violetten Strahl durchlassen, so erscheinen die rothen und violetten Bilder der Gegenstände nicht gleich deutlich zusammen. Beim Anblick der Sonne sieht man auf diese Weise eine wohlbegrenzte rothe Scheibe und eine undeutliche violette Scheibe von etwa dem doppelten Durchmesser der ersteren. Die letztere läßt sich mit Hülfe einer converen Linse deutlich machen; dann wird aber die andere undeutlich. Stokes bemerkt hiernach, daß er in der That entfernte Gegenstände deutlich vermittelst der äußersten rothen Strahlen sehen könne, aber entschieden kurzsichtig in Bezug auf die violetten Strahlen sei, dagegen etwas weniger kurzsichtig für mittlere Strahlen und gewöhnliches Licht. Und damit steht auch in nächster Beziehung, daß man rothe Gegenstände in größerer Entfernung deutlicher als violette, und letztere in größerer Nähe deutlicher als jene sehen kann ***).

Jede Faser des Sehnerven leitet den in ihr entstandenen Reiz gesondert zum Centralorgan fort und es entstehen daher auch, wenn zwei Fasern (eines Auges) gereizt werden, zwei gesonderte Empfindungen. Sollen zwei Punkte im Gesichtsfelde scharf unterschieden werden, so müssen ihre Bilder auf Netzhautpunkte fallen, von denen aus die Reizzustände gesondert durch die entsprechenden Nervenfasern fortgeleitet werden können, so daß also zwei gesonderte Empfindungen entstehen und nicht etwa eine Verschmelzung beider Reize zu einer Empfindung, welches letztere allerdings geschehen kann, wenn die beiden Punkte zu nahe aneinander liegen. Wir wissen nun schon, daß die Mitte der Netzhaut, der sog. gelbe Fleck, welcher nur $^1/_2$ bis $^1/_3$ Linie im Durchmesser hat, der empfindlichste Theil ist, und daß von hier aus die Schärfe der Unterscheidung nach den seitlichen Stellen der Netzhaut hin immer mehr abnimmt. Auch haben wir bereits erwähnt, daß im gelben Fleck sich eine Menge jener Zäpfchen befindet, welche zunächst von den Aetherwellen afficirt werden, und daß ein jedes von ihnen mit einer besonderen Nervenfaser in Verbindung steht, während diese Zäpfchen in den seitlichen Theilen der Netzhaut seltner und umgeben von den sog. Stäbchen vorkommen, von denen mehrere mit einer Nervenfaser verbunden sind.

Dagegen sieht man nicht vermittelst der Eintrittsstelle des Sehnerven ins Auge, weshalb man dieselbe auch häufig das punctum coecum (blinde Stelle) nennt. Dies fand zuerst Mariotte, nach welchem diese Stelle wohl auch der

*) Müller's Handb. d. Physiologie Bd. II. Abth. II. S. 348.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. u. XCVI. S. 311. Dove, Darstellung der Farbenlehre und optische Studien S. 174. Vergl. auch Gilb. Ann. Bd. LVI. S. 304.

***) Ueber die Dispersion (Farbenzerstreuung) d. menschl. Auges s. auch Matthiessen in Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 578.

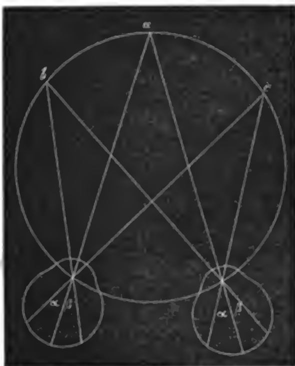
Mariotte'sche Fleck genannt wird. Gewöhnlich überzeugt man sich davon auf folgende Weise: Man bringt auf ein weißes Papier zwei schwarze oder auf ein schwarzes Papier zwei weiße Punkte (etwa zwei weiße Oblaten), in einem Abstande von ungefähr zwei Zollen nebeneinander; und sieht dann, indem man das linke Auge schließt, mit dem rechten Auge auf den links liegenden Punkt, oder bei Schließung des rechten Auges mit dem linken auf den rechts liegenden Punkt, aus einer Entfernung herab, die etwa fünfmal größer ist als der Abstand beider Punkte. Alsdann verschwindet der andere Punkt, indem sein Bild gerade auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fällt *). An dieser Stelle befindet sich auch die Centralarterie des Auges.

Das Sehen vermittelst des gelben Flecks nennt man nun directes Sehen, zum Unterschiede vom indirecten, welches durch die seitlichen Theile der Netzhaut vermittelt wird. Beim genaueren Betrachten bewegt und richtet sich das Auge nun so, daß die Bilder der Gegenstände oder auch verschiedener Theile eines und desselben Gegenstandes nacheinander auf dem gelben Fleck zur Darstellung kommen.

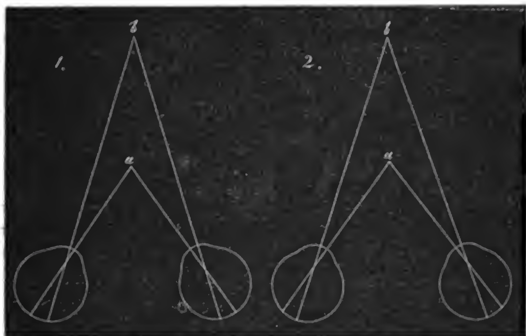
Man nimmt an, daß jedem Punkte der Netzhaut ein bestimmter Punkt des Sehfeldes entspricht, den man erhält, wenn man von dem Netzhautpunkte sich eine gerade Linie durch den Kreuzungspunkt gezogen denkt. Die Bilder aller in der Richtung dieser Geraden liegenden Punkte fallen auf denselben Netzhautpunkt; und in dieser Richtung wird der gesehene Punkt nach außen versetzt.

Richten wir beide Augen auf einen Gegenstand oder auf einen Punkt desselben, so entsteht in jedem Auge ein Bild dieses Gegenstandes oder Punktes, der einfach gesehen wird, falls beide Bilder in beiden Augen auf dieselben Netzhautstellen fallen. Jedenfalls sehen wir einen Punkt im Gesichtsfelde einfach, wenn beide Augen so auf denselben gerichtet sind, daß sich die Augenaxen in ihm kreuzen oder durchschneiden. In diesem Falle entsteht in jedem Auge ein scharfes Bild des fixirten Punktes auf der Mitte der Netzhaut; und beide Bilder werden durch das Vorstellen auf denselben Punkt des Gesichtsfeldes projicirt. Sonst fehlt es auch nicht an matten Doppelbildern anderer Gegenstände oder Punkte im Gesichtsfelde, die jedoch selten zum Bewußtsein kommen. Man behauptet nun häufig, daß außer dem Punkte, auf welchen die Augenaxen gerichtet sind, zugleich noch alle diejenigen Gegenstände oder Punkte einfach gesehen würden, deren Bilder in beiden Augen auf sog. identische Netzhautstellen fallen. Hiernach ist im Allgemeinen die obere Seite der einen Netzhaut identisch mit der oberen Seite der Netzhaut im anderen Auge, eben so die untere Seite der einen mit der unteren Seite der anderen, weiter die rechte mit der rechten, und endlich die linke Seite der einen mit der linken Seite der anderen. Und so wird man auch zwei Netzhautpunkte, welche in beiden Augen von der Mitte der Netzhaut in derselben Richtung gleichweit entfernt liegen, als identische betrachten müssen. Sind nun beide Augenaxen auf einen Punkt a (s. umstehende Figur) eingestellt, den man dann einfach sieht, so sollen auch noch alle diejenigen Punkte einfach gesehen werden, deren Richtungslinien Winkel machen, die dem Winkel der Augenaxen bei a gleich

*) Weiteres über diese Stelle findet man bei Volkmann: Sitzungsb. der Leipz. Soc. der Wissensch. 1853. S. 27—50.



sind. Wenn also die Winkel bei b und c einander und dem Winkel bei a gleich sind, so werden die Punkte b und c einfach erscheinen. Man kann nun durch diese Punkte und die Kreuzungspunkte in beiden Augen einen horizontalen Kreis ziehen; und insofern die Winkel α und β einander gleich sind, werden auch die von den Schenkeln dieser Winkel begrenzten Netzhautabschnitte einander gleich sein, so daß dann die von den Richtungslinien getroffenen Netzhautstellen identische sind. Eben so verhält es sich für alle Kreise von gleichem Durchmesser, die durch die Kreuzungspunkte gelegt werden können, oder für eine Kugelfläche, die man wohl auch den Horopter nennt. Sonst nennt man Horopter gewöhnlich die Ebene, welche durch den Durchschnittspunkt beider Augenaxen so gelegt ist, daß die den Winkel beider Augenaxen halbirende gerade Linie auf derselben senkrecht ist. Alle in dieser Ebene liegenden Punkte sollen einfach erscheinen. Auch fallen die Bilder irgend eines in dieser Ebene liegenden Punktes auf entsprechende (übereinstimmende) Punkte der Netzhaut, d. h. auf solche Netzhautstellen, welche in beiden Augen in der nämlichen Richtung auf derselben Seite der Augenaxe liegen. Jedoch sind solche entsprechende Netzhautstellen noch keine identischen, wenn sie nicht auch in gleichem Abstande von dem innern Endpunkte der Augenaxe oder von der Mitte der Netzhaut liegen. Es ist, wie oben hervorgehoben, gewiß, daß wir allemal den Punkt einfach sehen, in welchem sich beide Augenaxen schneiden und für dessen Entfernung beide Augen accommodirt sind; die zwei Bilder des Punktes fallen dann, wie wir wissen, in beiden Augen auf die Mitte der Netzhaut. Was nun die übrigen Gegenstände oder Punkte betrifft, die man in diesem Falle noch einfach sieht, so müssen wohl die Bilder eines jeden derselben auf entsprechende Netzhautstellen fallen; allein man darf hieraus nicht allgemein schließen, daß wir jeden Gegenstand allemal einfach sehen, wenn dessen Bilder in beiden Augen auf solchen Netzhautstellen liegen. Auch dann, wenn diese Bedingung erfüllt ist, kann man Gegenstände noch doppelt sehen. (Das Weitere hierüber findet man im Art. Sehen.) Dagegen sieht man wohl einen Gegenstand jedenfalls doppelt, wenn die Bilder desselben bei Fixirung eines andern Gegenstandes in beiden Augen auf verschiedene Seiten der Augenaxe, also auf nicht entsprechende Netzhautstellen fallen. Ein einfacher und bekannter Versuch, der hierher gehört, ist folgender: Man halte zwei Stäbe oder Finger in gewissen Entfernungen hintereinander vor das Gesicht, und fixire abwechselnd den einen und den anderen; dann erscheint allemal der fixirte einfach, der nicht fixirte dagegen doppelt. In umstehender Fig. 1 sind beide Augenaxen auf a gerichtet; die Bilder von b liegen dann in beiden Augen auf verschiedenen Seiten der Augenaxe; b wird auf verschiedene Stellen des Gesichtsfeldes projicirt und erscheint doppelt. In Fig. 2 ist b der fixirte Punkt, der nun einfach erscheint, während a doppelt gesehen wird.



Wir haben (S. 921) erkannt, daß die scheinbare Größe eines Gegenstandes bedingt ist durch die Größe des Gesichtswinkels, oder, was dasselbe ist, durch die Größe des entsprechenden Netzhautbildchens, d. h. durch die Anzahl der erregten Netzhautpunkte. Dieses Bild ist aber um so kleiner, je kleiner der Gegenstand, oder je größer die Entfernung des letzteren ist. Da sich nun die Gegenstände wechselnd uns nähern oder von uns entfernen, und auch wir selbst, vermöge unserer eigenen Beweglichkeit, denselben bald näher, bald ferner kommen, so bildet sich schon frühzeitig, freilich nicht in Folge bewußter Reflexion, sondern fast lediglich auf dem Wege unwillkürlicher Association die Erfahrung, daß die größere Entfernung mit einem kleineren Gesichtsbilde eines und desselben Gegenstandes verbunden ist. Und für die Beurtheilung der Entfernung ist es wieder von Bedeutung, daß uns die Gegenstände mit wachsender Entfernung (von uns) immer undeutlicher und lichtschwächer erscheinen, so daß sich dann die Vorstellung dieser Merkmale mit der Vorstellung einer größeren Entfernung verknüpft (associirt). Darum halten wir aber auch ferne Gegenstände, wenn sie uns wegen der besonderen Beschaffenheit (Durchsichtigkeit) der atmosphärischen Luft heller und deutlicher als sonst erscheinen, für näher, während umgekehrt bei trüber Luft die weniger deutliche Gesichtsvorstellung häufig auf eine größere Entfernung hindeutet. Ist uns die Ausdehnung eines Gegenstandes ungefähr bekannt, so halten wir ihn nach dem Vorstehenden natürlich um so entfernter, je undeutlicher seine Gesichtsvorstellung ist; derselbe erscheint uns dann aber auch um so größer. Weiter kommt noch in Betracht die Menge der Gegenstände, die zwischen dem Auge und dem entfernten (beobachteten) Gegenstande liegen; je größer die Anzahl der zwischenliegenden, unterscheidbaren Gegenstände ist, desto größer schätzt man die Entfernung. Und deshalb werden auch Entfernungen in großen einförmigen Ebenen oder über ausgedehnten ebenen Wasserflächen meist für zu gering gehalten.

Bei näheren Objecten ist endlich für die Beurtheilung der Entfernung besonders die Richtung der Augenaxen von Bedeutung, nämlich der Winkel, welchen diese Axen am betrachteten Object mit einander machen. Zwar hat man von der Größe dieses Winkels zunächst kein Bewußtsein, aber es entsteht, sobald die Augen die zu seiner Herstellung nöthigen Richtungen annehmen, eine Muskelempfindung,

die sich mit der reinen Gesichtsempfindung associirt. Je näher das Object ist, desto größer ist der Winkel der beiden Augenaxen, und desto mehr müssen sich die Muskeln anstrengen, um diese Richtungen anzunehmen und einzuhalten. Dies gilt natürlich nur, wenn wir mit beiden Augen sehen. Zu den Empfindungen, welche, wie eben bemerkt, aus der Veränderung des Convergenzpunktes der Augenaxen resultiren, gesellen sich nun noch diejenigen Empfindungen, welche durch das Accommodationsvermögen des Auges für nähere oder fernere Objecte veranlaßt werden.

Um den directen Zusammenhang hervorzuheben, welcher bei Betrachtung eines Gegenstandes zwischen der Entfernung des letzteren vom Auge und dem Winkel der Augenaxen besteht, macht Brewster *) auf einige Versuche aufmerksam, die sich auf die scheinbare Annäherung oder Fortrückung eines Gegenstandes beziehen, wenn man den Durchschnitts- oder Convergenzpunkt der Augenaxen vor oder hinter diesen Gegenstand fallen läßt. Man stelle sich einer verticalen Wand gegenüber, welche eine und dieselbe Zeichnung (Tapetenmuster) in stets gleichen Größen und Abständen enthält, und bringe durch stärkere Neigung der Augenaxen je zwei entsprechende Punkte zum scheinbaren Zusammenfallen, was dann auch bei allen übrigen geschehen wird, so daß man ein Bild der Wand wahrnimmt, das in den Convergenzpunkt der Augenaxen und daher näher gerückt ist. Und deshalb erscheinen denn auch die Muster, deren scheinbare Größe dieselbe geblieben ist, in einem verjüngten Maßstabe. Hat man dagegen eine durchsichtige, symmetrisch gezeichnete Wand, etwa eine Glastafel, oder eine regelmäßig durchbrochene, — etwa ein gleichförmiges Gitter, oder den vertical gestellten Sitz eines durchbrochenen Rohrstuhles ꝛc. — so wird man die Felder derselben, wenn man den Convergenzpunkt der Augenaxen hinter die Wand verlegt, in größerer Entfernung und darum vergrößert zu sehen glauben.

Die freie Beweglichkeit des Auges ist übrigens für die Schätzung der Größe eines Gegenstandes nicht minder wichtig als für die Auffassung der Gestalt. Indem der Blick gewissermaßen an dem Gegenstande hingleitet, kommen die Bilder desselben und seiner Theile schnell nacheinander auf die Mitte der Netzhaut, auf den sog. gelben Fleck, der bekanntlich das schärfste Unterscheidungsvermögen besitzt. Und auch hier verbinden sich die Muskelempfindungen des bewegten Auges mit den reinen Gesichtsempfindungen. Auf diesen Augenbewegungen beruht nun auch das Messen einer Strecke. Verschiedene Menschen gewinnen aber je nach ihrer äußeren Beschäftigungsweise eine besondere Fertigkeit in der Auffassung einer bestimmten Strecke, die dann weiterhin als Maßstab für die Schätzung größerer Strecken benutzt wird. Dieser Maßstab wird zwar bei Allen auf gleiche Weise durch die Bewegung des Auges gewonnen, allein seine Länge ist bei Verschiedenen ungleich, wenn sie durch die verschiedenartige äußere Beschäftigung zur wiederholten Auffassung ungleich langer Strecken veranlaßt werden. Doch führt schon die Auffassung der eigenen Glieder (Gliedmaßen) zu einem gewissen übereinstimmenden Messen, bevor noch die Reflexion hinzutritt und durch Uebereinkunft gemeinsame Maße schafft.

In Hinsicht auf die Auffassung bestimmter Gestalten kommt noch in Betracht, daß das Auge in Folge der Stellung seiner Muskeln nicht jede Richtung gleich-

*) Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXX. p. 305.

mäßig zu verfolgen vermag. Der freie Blick bewegt sich leichter in horizontaler als in verticaler Richtung, leichter nach abwärts als nach aufwärts, leichter gegen den inneren als gegen den äußeren Augenwinkel *).

Jedes Auge hat zwar sein besonderes Gesichtsfeld; die Gesichtsfelder beider Augen bilden aber, wenn die letzteren offen sind, Ein Gesichtsfeld, das eine langgezogene elliptische Gestalt hat, und dessen horizontale Ausdehnung größer als die verticale ist.

Aus den vorstehenden Betrachtungen wird man wohl schon mit einiger Evidenz erkannt haben, daß das Sehen, das Auffassen bestimmter Gestalten im Raume, die Schätzung der Größen und Entfernungen, die gegenseitige Lage der Gegenstände, sich nicht in der frühesten Kindheit, so zu sagen, mit Einem Schlage macht, sondern daß dies Alles erst, wenn auch in einer verhältnißmäßig kurzen Zeit, wirklich erlernt wird. Dafür sprechen auch direct bestimmte Beobachtungen, die man an glücklich geheilten Blindgeborenen gemacht hat. Einer derselben, 13 Jahre alt, von dem englischen Wundarzt Cheselden operirt, konnte die Entfernungen so wenig beurtheilen, daß er glaubte, alle Gegenstände, die er sähe, berührten seine Augen, wie das, was er fühlte, seine Haut; auch konnte er keinen Gegenstand vermittelst des Auges von anderen unterscheiden, er mochte noch so verschiedene Gestalt und Größe haben. Gemälde sah er anfänglich nur als buntscheckige Flächen **). Ein von Dr. Franz Operirter vermochte anfangs nicht die Kugel von der Scheibe, und den Würfel vom Quadrate zu unterscheiden ***). Dagegen ist es allerdings möglich, daß ein sehend gewordener Blindgeborener, vermöge der Aehnlichkeit zwischen den Reihen der Muskelempfindungen beim Umtasten der Gestalt mit dem Finger und beim Umschreiben derselben mit dem Blicke, in dem Gesichtsbilde eines Körpers alsbald das schon bekannte Tastbild desselben wieder erkennt. Der von Franz Operirte gab an, daß er hierbei von einem Gefühle in den Fingerspitzen geleitet werde.

Zur Ergänzung der vorstehenden Betrachtungen über das Sehen lasse ich nun noch einige mehr psychologische Betrachtungen über diesen Gegenstand folgen, die mir von Prof. W. F. Volkmann (in Prag) mitgetheilt wurden.

„Schon ein flüchtiger Blick auf das Netzhautbild zeigt uns, daß, wenn das Gesichtsobject nur einigermaßen bunt angenommen wird, die verschiedenen in ungleicher Dichtigkeit neben einander gelagerten centralen Enden der Sehnervenfasern qualitativ verschiedene Reize erhalten, welche sie sofort zu den Centralapparaten des Bewußtseins fortleiten. Was wir das Gesichtsbild nennen, ist also nicht sowohl eine einzige Empfindung, als vielmehr eine Summe, ein Complex so vieler elementarer Empfindungen, als sich Fasern des Sehnerven auf der Netzhaut im Zustande der Reizung befanden. Wären die einzelnen Bestandtheile dieses Complexes qualitativ völlig gleich, wie dies aus mancherlei Gründen bei dem Gehör und Geruch der Fall zu sein scheint, so fielen sie ohne Zweifel in die ununterscheidbare Einheit eines intensiven Zustandes zusammen und

*) Vergl. Lotze, medicinische Psychologie S. 332.
**) Phil. Transact. 1728. Vol. XXXV. p. 447. Smith's Optik, übers. v. Kästner, S. 40 ff. Vergl. auch Phil. Transact. 1826. T. III. p. 529. Drobisch, empirische Psychologie S. 103.
***) Phil. Transact. 1841. p. 66.

die Mehrheit der gereizten Fasern erschiene höchstens als Coefficient, mit dem die Reizung der einzelnen Faser zu multipliciren wäre; während hingegen gerade diese qualitative Verschiedenheit der einzelnen Elemente, welche übrigens der Gesichtssinn mit dem Tastsinne theilt, ein Unterscheiden und Auseinanderhalten des gleichzeitig Gesehenen möglich macht. Allein dieser Umstand für sich allein reicht noch nicht aus, die Raumform zu erklären, welche den Gesichtsbildern eigenthümlich ist. Diese zu entwickeln, müssen wir eine zweite Eigenschaft des Sehapparats in Betracht ziehen, nämlich dessen äußerst feine und leichte Beweglichkeit, die eine Reihe eben so fein gegliederter Muskelempfindungen einerseits zum Resultat, andererseits zur Voraussetzung hat. Diese freie unbehinderte Beweglichkeit des Blickes macht es uns möglich, in einer Reihe gesehener Objecte bei irgend einem Gliede stehen zu bleiben, umzuwenden und den Blick in verkehrter Richtung an ihnen vorüberschweben zu lassen, wobei uns die Muskelempfindung des Auges sowohl über die Wendung, als über die Identität der rückläufigen Bahn mit der ursprünglichen Auskunft ertheilt. Auf diese Weise verwandelt der hin und her gleitende Blick — wie nicht minder die auf und ab tastende Hand — das Nacheinander der Glieder durch die Umkehrung der Auffassung in das Nebeneinander, den Abfluß der Reihe in ein Feststehen ihrer Elemente. Vergleichen wir nun dies mit dem früher Gesagten, so sehen wir leicht, wie der an räumliche Auffassung bereits gewöhnte Mechanismus der Anschauung auch in der Mannichfaltigkeit des gleichzeitig gebotenen Stoffes ein Material vorfindet, das sich seiner Schematisirung sehr wohl anbequemt und die Raumform, die eigentlich ein Erwerb des bewegten Auges ist, wird auch auf die Auffassungen des ruhenden Auges (so wie weiterhin selbst auf die Anschauung einfarbiger Gesichtsfelder) übertragen. Das Auge ist somit (wie nicht minder der Tastsinn) der raumbildende Sinn, und es bedarf dabei wohl kaum der Bemerkung, daß die Raumform der Gesichtsvorstellung, wenn auch eine Folge, so doch nicht die unmittelbare Folge aus der Räumlichkeit des Organes ist, wie sonst wohl übereilter Weise behauptet worden und was nachdrücklich widerlegt zu haben, ein unläugbares Verdienst Lotze's *) und Waitz' **) bildet.

Fragt man nun nach dem eigentlichen Inhalt der Gesichtsempfindungen, d. h. nach dem, was eigentlich gesehen wird, so scheint es rathsam zu sein, vorerst einige der häufiger vorkommenden Vorurtheile abzuweisen. Daß vor Allen nicht die Gegenstände selbst gesehen werden, ist nicht schwer zu zeigen. Denn der äußere Gegenstand bleibt unter allen Umständen für uns ein äußerer, von dem wir eben nur so viel wissen, als unsere Vorstellung von ihm in sich enthält, diese aber entsteht weder durch das Eingehen des Objectes in die Seele, noch durch das Hinausgreifen dieser in jenes, und der Mensch kommt nirgends über die Grenze seines eigenen Bewußtseins hinaus. Darum ist auch die triviale Frage über das Verhalten unserer Farbenempfindungen zu den objectiven Farben als Eigenschaften des Gegenstandes an sich als unberechtigt bei Seite zu legen. Wichtiger jedoch ist es, sich klar zu machen, daß auch nicht das Netzhautbild das sei, was gesehen wird, d. h. daß im Inhalte unserer Gesichtsempfindung nicht die geringste Hindeutung auf die Ereignisse an der Netzhaut liege. Wenn man das

*) Medic. Psychologie S. 318.
**) Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft §. 22.

klare, verkleinerte Bildchen auf der Netzhaut und den complicirten Apparat seiner Herstellung betrachtet, so liegt immerhin die Versuchung nahe, dasselbe für etwas Immaterielles, dem geistigen Substrate näher Gerücktes anzusehen, — eine Auffassung, die vergißt, daß auch das Bild auf der Netzhaut dem Bewußtsein um nichts minder äußerlich ist, als das abgespiegelte Außending selbst. Den Inhalt der Gesichtsempfindungen bildet ein Was und kein Woher, die einzelnen Reize präsentiren dem percipirenden Bewußtsein keinen Heimathschein über ihre Ursprungsstelle und so wenig die Empfindungen als Empfindungen des rechten oder des linken Auges percipirt werden, eben so wenig kündigen sie sich als von der oberen oder unteren, rechten oder linken Region der Netzhaut kommend an. Die Seele hat kein inneres Auge, um nach der Netzhaut des äußeren zu schauen. In der Qualität der Empfindungen steckt keine Erinnerung an den Nerven und seinen Apparat und die strengste Zergliederung des Bewußtseins vermag keinen Aufschluß über anatomische Beschaffenheiten zu geben. Der Eintheilungsgrund für die Mannigfaltigkeit unserer Empfindungsqualitäten kann nie aus der Anatomie entlehnt werden. Ist dies klar geworden, so verlieren zwei alte berühmte Fragen einen guten Theil ihrer Bedeutsamkeit: die über das Aufrechtsehen bei umgekehrtem Netzhautbilde, und die über das Einfachsehen bei doppeltem Organe.

Das Bild auf der Netzhaut ist umgekehrt. Der Complex von Empfindungen in der Seele hat zunächst gar keine Richtung, denn er ist die bloße Summe der einfachen Perceptionen, und in diesen als reinen Qualitäten liegt kein Oben und Unten. Diese Beziehung auf ein Oben und Unten, auf ein Rechts und Links kommt in das Gesichtsbild durch den Muskelsinn (zunächst des Auges), für den aus begreiflichen Gründen das Emporheben des Blickes etwas ganz anderes als das Fallenlassen desselben ist, die Bewegung nach dem inneren Winkel anders als die nach dem äußeren erscheinen muß. Daß in Folge der Hebung des Blickes das Bild auf der Netzhaut nach unten zunimmt, ist für meine Gesichtsempfindung eine indifferente, weil unbekannte Thatsache; meine Gesichtsempfindung weiß nur von der Veränderung, die in ihrem Inhalte vorgeht. Das Bewußtwerden einer Richtung hinzuzufügen ist Sache der Muskelempfindung, und es ist offenbar, daß es auf diese Weise zu keinem Widerspruche zwischen den beiderlei Empfindungen kommen könne. Würden wir wirklich das Bild auf der Netzhaut sehen, dann müßten uns die abgespiegelten Objecte nicht blos umgekehrt, sondern überdies auch noch gekrümmt, mosaikartig und von der bekannten blinden Stelle unterbrochen erscheinen. Der letzte Punkt, bezüglich dessen auf die neueren Untersuchungen A. W. Volkmann's und E. H. Weber's zu verweisen ist, zeigt die Unabhängigkeit des Empfindungsinhaltes von der Beschaffenheit des organischen Herdes besonders deutlich. Die Empfindung sagt uns nichts über das Vorhandensein einer blinden Stelle im Auge, eben weil die Empfindung nichts sagen kann über das, was nicht empfunden wird; läge aber im Empfindungsinhalt eine Hinweisung auf die Ursprungsstelle, so müßte der Ausfall an Empfindungen im Gesichtsfelde merklich auffallen.

Nach denselben Principien ist auch die andere Frage zu lösen. Das Gesichtsfeld unseres Bewußtseins besteht nicht aus den Gesichtsfeldern des rechten und des linken Auges, sondern der Antheil, der den einzelnen Augen zukommt (und dieser ist in Folge der Kreuzung bekanntlich nicht so ganz einfach), bleibt von

Seite des unmittelbaren Bewußtseins völlig unentschieden. Man kann auf Einem Auge erblinden, ohne dies sogleich zu bemerken und erst ein zufälliges Experiment verräth das Gebrechen. (Kant erzählt dies von sich selbst in der Schlußanmerkung zu dem Streite der Facultäten.) Daraus, daß man dieselbe Gesichtsvorstellung zweimal hat, folgt noch nicht, daß man ihren Inhalt zweimal, d. h. getrennt vorstelle, sondern ein bestimmter Gegenstand wird erst dann doppelt gesehen, wenn er auf zwei verschiedene Stellen eines gemeinsamen Hintergrundes gleichzeitig projicirt wird. Ein Doppeltsehen giebt es somit nur in Bezug auf einzelne bestimmte Gegenstände, und ein Doppeltsehen der ganzen Gesichtsfelder ließe sich nach Purkinje's *) Ausdruck nur als eine Krankheit der Seele denken, in der die Einheit des Bewußtseins in untergeordnete Sphären zerfiele. Das Doppeltsehen setzt somit die Projection des Empfindungsinhaltes in die Außenwelt überhaupt und an eine bestimmte Stelle derselben insbesondere voraus. Hierbei scheint es nun, daß gewissen conformen Stellungen beider Augen gleiche Muskelempfindungen entsprechen, und Gesichtsqualitäten, die bei solchen Stellungen projicirt werden, erscheinen einfach, was bei allen jenen Gegenständen der Fall ist, die in demselben Horopter erscheinen. Die Bilder jener Gegenstände hingegen, welche bei Fixirung anderer vor oder hinter den Horopter dieser fallen, d. h. näher oder ferner vom Auge liegen, als der Radius des jeweiligen Horopters beträgt, werden doppelt gesehen, oder würden vielmehr doppelt gesehen, weil, um sie in gewünschter Deutlichkeit zu erhalten — bei fortdauernder Fixirung eines Gegenstandes des festgehaltenen Horopters — Stellungen der Augen nothwendig wären, denen verschiedene Muskelempfindungen entsprächen. Daß wir uns für gewöhnlich dieser Bilder gar nicht bewußt werden, hat darin seinen Grund, weil sie von nur geringer Klarheit sind und die Fixirung anderer Gegenstände ihnen die nothwendige Aufmerksamkeit entzieht. Wendet man nun letztere ihnen gleichwohl zu, was einiger Uebung und Geschicklichkeit bedarf, so erhascht man wirklich Doppelbilder desselben Gegenstandes. Außerdem tritt das Doppeltsehen wohl nur bei solchen abnormen Einflüssen ein, die zur Folge haben, daß die beiden Gesichtsbilder, die sonst von gleichen Muskelempfindungen begleitet sind, nun durch Associationen verschiedener Muskelempfindungen auseinander gehalten werden, wie beim absichtlichen Schielen, oder bei manchen Nervenstörungen. (Das Einfachsehen des von Geburt aus Schielenden mag daraus zu erklären sein, daß er abwechselnd nur den Projectionen je Eines Auges seine Aufmerksamkeit voll zuwendet.)

Endlich muß noch auf eine Reihe von Ungenauigkeiten hingewiesen werden, der wir in der älteren Psychologie häufig begegnen und die darin besteht, zu dem Gegenstande der Gesichtsempfindung auch die Entfernung, Größe, Gestalt und wohl auch die Körperlichkeit selbst zu zählen. Allein man überzeugt sich bald, daß die aufgezählten Momente nur Bezeichnungen für Verhältnisse sind, die nie in das Perceptionsvermögen eines Sinnes verlegt werden können, ohne ihm eine widersprechende Empfänglichkeit beigelegt zu haben. So ist Entfernung als solche gewiß kein Farbenreiz, nur das Auge, sollte es die Entfernung selbst percipiren, müßte neben seiner Empfänglichkeit für Farbenreize auch eine Empfänglichkeit für etwas besitzen, das kein Farbenreiz ist. Vielmehr beruhen alle jene Aussagen auf Urtheilen, die auf Grundlage von Empfindungsqualitäten und

*) Beob. zur Phys. der Sinne. Prag 1823. I. S. 149.

zwar in Folge der Gewohnheit mit einer Schnelligkeit gefällt werden, welche den Mechanismus des Zustandekommens einigermaßen verdeckt. In dem Inhalt einer Empfindung ist keine Täuschung möglich, d. h. darin kann ich mich nicht täuschen, daß, wenn ich die Empfindung a habe, ich mir die Qualität a vorstelle, wohl aber sind Täuschungen über Entfernung, Größe, Gestalt sehr häufig — ein weiterer Beweis dafür, daß es sich bei diesen Bestimmungen um ein Subject und Prädicat, also um ein Urtheil handle. Das Hinzutreten des Urtheils zu der Empfindung in allen Fällen nebst den maßgebenden Einflüssen zu bestimmen, hat seine Schwierigkeiten, und wir beschränken uns auf einige allgemeine Andeutungen. Was zunächst das Auffassen von Gestalten betrifft, so beruht es auf den Muskelempfindungen, die der an der Grenze hinschweifende Blick erzeugt. Die Grenze, die wir am einfachsten als Farbengrenze anzunehmen haben, ist die Region des ärgsten Widerstreites und darum der höchsten Spannung, denn längs ihrer stoßen die entgegengesetzten Qualitäten zusammen, und der an ihr gleichsam balancirend fortschreitende Blick behauptet sich auf dem Niveau der höchsten Erregung. So lernt das Auge aus dem Chaos des farbigen Gesichtsfeldes die einzelnen Gestalten herausschneiden. Das Regelmäßige der Gestalt spricht sich dabei in dem Rhythmus der Muskelempfindungen aus, in welchem Erwartungen auf bestimmte Weise angeregt und befriedigt werden. Der Blick, der an der einen Seite eines regulären Polygons hingleitet, erhält bei dem ersten Scheitel, über den er in der Richtung der ersten Seite hinausfährt, gleichsam einen Stoß: er hat die Linie verloren und irrt unbestimmt in (relativ) reizloser Weite herum, bis er die Peripherie wieder findet, an der er nun allmälig die Wendung merkt, die nothwendig ist, um bei weiterer Verfolgung die Peripherie nicht mehr zu verlieren. So bilden sich Erwartungen eines bestimmten Quantums von Wendung je nach Ablauf einer bestimmten Zeit, und auf diesem Spiele von Suchen, Finden und Wiedersuchen beruht der Reiz leicht faßbarer Gestalten. Neue Momente treten dadurch ein, daß man die Peripherie auf ein Centrum zu beziehen anfängt, und so die Gestalt, die zuvor als blos nach außen abgegrenzt aufgefaßt wurde, als ein Inneres vorzustellen strebt. Das regelmäßig Begrenzte wird zum symmetrisch Angeordneten. Was nun weiter die Beurtheilungen der Entfernung und Größe anbelangt, so beruhen beide auf Messungen, und zwar, wie es scheint, jene mehr auf dem Acte des Messens selbst, diese auf dem durch Vollendung des Messens gewonnenen Resultate. Der Blick, der von der Wurzel des Baumes zum Gipfel emporsteigt, giebt uns zunächst nur die Entfernung dieses von jener; erst ein wiederholtes Auf- und Abwandeln des Blickes vollendet das Messen, und der gemessene Baum erscheint in bestimmter Größe. Hieraus folgt, daß die Entfernung zunächst nach der Zeit der Dauer des Messens selbst bestimmt wird, und daß somit die Menge des zu Messenden und die Reihe der Muskelempfindungen den nächsten Maßstab abgeben. Aber eben deshalb wird weiter Alles, was das Messen erschwert, die Entfernung größer erscheinen lassen. — Dergleichen ist erstlich die Leere und Einförmigkeit, die dem nach Abschnitten suchenden und sich an ihnen anklammernden Blicke den Haltpunkt versagt, den aber auch ihm nicht minder die grelle Buntheit und verworrene Durcheinanderbewegung verweigert. So erscheint die menschenleere Straße weiter, als die von wimmelndem Gedränge erfüllte, das leere Meer nicht minder, als das von Schiffen wirr durchkreuzte. Zweitens: das Messen mit einem Maßstabe, der sich bei dem Fortgange des Messens als unzu-

länglich bewährt, wie wenn man einen absichtlich geringen Maßstab dem Auge aufnöthigt, und dabei noch allenfalls die anfangs fein gegliederte Reihe in einförmige, wüste Strecken sich verlaufen läßt; wozu die absichtlichen Täuschungen in den bildenden Künsten manches interessante Beispiel gewähren. Die Größe eines Gegenstandes schätzen wir nach dem Gefühle der Anstrengung, die es kostet, alle seine Bestandtheile gleichzeitig in ein Bild zu umfassen. Das gleichzeitige klare Vorstellen der Glieder einer Raumreihe thut uns Gewalt an, und erzeugt jedesmal ein Gefühl der Spannung, das um so größer ist, je mehr unterscheidbare und je verschiedenartigere Glieder zusammengehalten werden sollen. So kann gerade der Gegenstand, bei dem die Auffassung der Grenzentfernungen schwierig war, in der vollendeten Auffassung des Auseinanderhaltenden wenig besitzen, wie denn dies Jedermann von den Zeitreihen weiß, bei denen die Erinnerung oft Stunden unüberwindlicher Langweile als kurz, weil inhaltslos erscheinen läßt. Monotone Flächen, deren Auffassung anstrengend gewesen ist, zeigen sich der Erinnerung fast nur als dunkler Gesammteindruck. Complicirter wird natürlich noch die Beurtheilung, wenn beide Momente: Entfernung und Größe einander wechselseitig zu Bestimmungsgründen dienen sollen, d. h. wenn man aus der Entfernung eines Gegenstandes von uns auf dessen (wirkliche) Größe, oder aus seiner Größe (und Deutlichkeit) auf seine Entfernung schließen will. — Ob endlich, um auch den letzten Punkt zu berühren, das Auge allein für sich, ohne Beihülfe des Tastsinnes die Körperform zu bilden vermag, d. h. zu einer Vorstellung der dritten Dimension führen kann, oder nicht — ist eine alte Controverse. Gewöhnlich beruft man sich bei der affirmativen Behauptung auf die Vorgänge bei der Accommodation des Auges, welche gleichsam das Senkblei in die Fläche des Gesichtsbildes werfen und so die einzelnen Theile desselben näher oder ferner rücken lehren. Ohne in die Schwierigkeiten dieses Actes weiter einzugehen, bemerken wir nur, daß, wenn wir uns mit beiden Augen zugleich schauend, vor einen Körper von geringerer Breite stellen, die Gesichtsauffassung anders ausfällt, als wenn wir vor der gemalten Copie desselben Körpers ständen. Denn in dem ersten Falle sieht des verschiedenen Standpunktes wegen das eine Auge einen Theil des Körpers, der dem anderen unsichtbar bleibt, und desgleichen umgekehrt, was in dem zweiten Falle nicht geschieht, wo beide Augen dasselbe zu sehen bekommen. Diesen Umstand nimmt nun das Gesicht zum Ausgangspunkte bei seinen Urtheilen über Körper- und Flächenauffassung (wobei die Vorstellung des Körperlichen im Allgemeinen bereits als vorhanden vorausgesetzt wird). Hierauf beruht die psychische Wirkung des Stereoskopes, worüber ein besonderer Artikel das Nähere liefert. Das Stereoskop bietet uns zwei verschiedene Bilder, die psychisch in die Auffassung Eines Körpers zusammenfallen. Es thut also insofern gar nichts anderes, als was das wirkliche Sehen dann thut, wenn es auf Körperformen schließt, und wir haben einen neuen Beleg für die angeführte Behauptung, daß aus der Doppelheit empfangener Eindrücke nicht schon unmittelbar die Doppelheit des vorgestellten Gegenstandes hervorgehen müsse.

Kommen wir nun nach so vielen Ablenkungen endlich wieder auf die ursprüngliche Frage nach dem, was eigentlich gesehen werde, zurück, so rechtfertigt sich wohl die kurze Antwort nunmehr von selbst: eine Summe von Farbigem, das Wort Farbe in dem weiten populären Sinne genommen, nach welchem Weiß und Schwarz auch zu den Farben gezählt werden. Aber gerade dieser Umstand

bedarf einer näheren Erklärung. Die Gesichtsempfindung des Schwarz ist eine positive Empfindung (eine negative Empfindung wäre ein Unding) und entspringt nicht blos aus dem Gefühle des Mangels, der Täuschung, des Bedürfnisses, wie Tiedemann, Oersted *), Waitz u. A. behauptet haben. „Das Schwarzsehen ist keine Negation des Sehens, sondern ein Sehen eigener Art." (A. W. Volkmann **); vergl. auch Lotze ***) u. A.) Der sich selbst überlassene, von außen aus ungereizte Sehnerv sieht schwarz, und das Schwarzsehen ist das Bewußtwerden des ungestörten Stimmungszustandes des Nerven. Nichtsehen und Schwarzsehen sind demnach wohl zu unterscheiden: das geschlossene Auge sieht schwarz, aber die blinde Stelle im Auge wird nicht schwarz, sondern gar nicht gesehen (sonst wäre ihr Vorhandensein Jedermann bekannt), so wie die absolut gelähmte Stelle der Netzhaut nicht schwarz, sondern gar nicht gesehen wird, und sich bei derlei Zuständen das Gesichtsfeld verengt, ohne daß in die verlassenen Ränder Schwarz eintritt. Wie nun in der Empfindung des Schwarz nur ein Bewußtwerden der Nervenstimmung liegt, so kann auch die Qualität der übrigen Farbenempfindungen nur durch ein gewisses Verhalten der Stimmung selbst bestimmt werden. Dies führt zu einer eben so wichtigen, als schwierigen Betrachtung.

So lange die Emanationstheorie herrschte, konnte man sich die Qualität der Farbenempfindung allenfalls von der Qualität des äußeren Einflusses abhängig denken, aber die Annahme der Vibrationstheorie, welche die Qualität der Farben auf Schwingungen eines und desselben Aethers reducirt, verwickelte in die Schwierigkeit, qualitative Verschiedenheiten aus quantitativen Verhältnissen abzuleiten. Niemand wird sich des Roth als eines langsameren, des Blau als eines schnelleren bewußt, ja es scheint dies ganz undenkbar zu sein, und doch muthet uns die Vibrationstheorie zu, den Grund dieser qualitativen Verschiedenheit in Wellenlängen und Schwingungszahlen zu finden. Hält man nun hieran fest, so folgt, daß, da die Qualität der Empfindung nicht von der Qualität der äußeren Reizung abhängig gemacht werden kann, dieselbe vielmehr von dem Verhältnisse abhängen müsse, in welches sich die äußere Reizung zu der vorgefundenen Stimmung des Sehnerven versetzt. In jedem Nerven bildet sich nämlich schon durch den Lebensproceß, der ihm als Theil des lebendigen Organismus zukommt, eine Summe zahlreicher, höchst dunkler innerer Zustände, die man füglich den trophischen Zustand oder die Stimmung nennen kann. Diese Stimmung stört nun der eintretende Lichtreiz, und indem diese Störung ein bestimmtes constantes Verhältniß beider Factoren: der Stimmung und des störenden Reizes annimmt, entsteht die Farbenempfindung. Für diese Annahme sprechen mehrfache Thatsachen. Es ist bekannt, daß ein Stoß, Schnitt oder der elektrische Strom im Auge nicht als solche, sondern als Farbenerscheinungen percipirt werden. Nun ist doch wohl die Qualität der Reizung in diesen Fällen von der Qualität des Lichtäthers verschieden, und würde in der Farbenempfindung das Bewußtwerden der Qualität der Reizungen liegen, so müßten derlei Einwirkungen entweder in einer von der Farbenempfindung ganz verschiedenen Qualität percipirt werden oder

*) Der Geist in der Natur. III. S. 45.
**) Art. Sehen in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie Bd. III.
***) a. a. O. S. 218 u. 380.

könnten gar nicht vom Sehnerven aufgefaßt werden. Nicht minder bekannt ist es, daß das überreizte Auge nicht unmittelbar in den Ruhezustand zurückkehrt, sondern dabei vielmehr gleichsam den Umweg durch eine oder mehrere Farbenerscheinungen nimmt — ein Umstand, aus dem man von jeher auf eine gewisse Activität des Auges geschlossen hat, die eben nichts Anderes aussagt, als daß die Farbenerscheinung nicht sowohl aus äußerer Reizung als vielmehr aus der inneren Beschaffenheit des Organes zu erklären sei.

Ist nun der Farbenreiz eigentlich blos das constant gewordene Verhältniß der Stimmung zu dem störenden Lichtreize, so kann man sich nach den bekannten Grundformeln der Vibrationstheorie: $L = VT$ und $N = \frac{V}{L} = \frac{1}{T}$ (in denen L die Wellenlänge, T die Dauer einer Vibration, V die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, und N die Schwingungszahl während einer Secunde bedeuten) L als das Quantum der Störung, und N als das Maaß der Aufeinanderfolge derselben, als den Rhythmus der Störung denken (wobei die Formeln die Abhängigkeit des N von L leicht erkennen lassen). Alsdann folgt, daß bei einigen Farben die Störung in bedeutenderen, aber langsamer auf einander folgenden, bei anderen in geringeren, aber schnelleren Impulsen vor sich gehe, und daß somit die Stimmung dort größere Erschöpfungen in längeren, hier geringere in kürzeren Impulsen zu ersetzen habe. So allgemein diese Betrachtungen auch sind, so gestatten sie doch schon einen Vorblick in den Charakter der Farben *). — Die Farbe, die das noch ungereizte Auge trifft, ist Umänderung der vorgefundenen Stimmung, also kurz Umstimmung. Dauert nun dieselbe Einwirkung längere Zeit, so wird die Umstimmung gewissermaßen zur normalen Stimmung, und die darauf folgende neue Farbeneinwirkung wird nur so weit und nur in dem Sinne als neue Farbe percipirt, als sie eine Umstimmung dieser Umstimmung bewirkt. Weiß erscheint nur da als Totalität, wo ihm Schwarz vorherging, auf Roth folgend wirkt es nur so weit, als in ihm Störungen enthalten sind, die von der Welle des Roth verschieden sind. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß das weiße Licht nicht gleich viel Wellen der verschiedenen Farben enthält (wie denn auch bekanntlich bei einer Scheibe, die schnell um ihr Centrum gedreht, möglichst rein weiß erscheinen soll, die farbigen Sectoren nicht gleich groß genommen werden dürfen, wofür schon Newton empirische Regeln angab) — daß also die Wellenlängen der einzelnen Farben (als die störenden Quanta) mit einem deren Menge ausdrückenden Coefficienten zu versehen sind.

Wir können diese Ansicht hier nicht nach allen Seiten hin entwickeln, aber es sei bemerkt, daß sie manches der Erklärung der complementären Erscheinungen Günstige enthält, und daß sie auch eine Erklärung der Blendungsbilder anbahnt, obwohl eine Vergleichung der Beschreibungen dieses Phänomens von Aristoteles bis auf Fechner herab vermuthen läßt, daß in demselben keineswegs die hie und da behauptete Gleichförmigkeit herrsche.

Zu dem Ganzen muß noch bemerkt werden, um einem Mißverständnisse zu begegnen, daß die als Umstimmung beschriebene Störung keineswegs als

*) Vergl. **Grundriß der Psychologie nach genetischer Methode** rc. von **W. F. Volkmann**, Halle 1856. S. 64 ff.

Schmerz aufzufassen sei, sondern daß es dem Auge vergönnt zu sein scheine, seinen Lebensproceß mit verschiedenen inneren Vorgängen in Einklang zu bringen. Schmerz würde erst dann eintreten, wenn der Lichtreiz eine mit der theilweisen und gleichsam punktuellen Wiederherstellung der ursprünglichen Stimmung unvereinbare Permanenz angenommen hat, wie dies am leichtesten bei reinem intensiven Weiß der Fall sein kann."

Wir gehen nunmehr über zur Betrachtung der auffallendsten Gesichtsfehler, die von den Krankheiten des Auges noch unterschieden werden, und einiger anderer optischer Erscheinungen, die mehr subjectiver Art, d. h. dem Augenapparate selbst zugehörig sind, aber nicht zu den Gesichtsfehlern gerechnet werden können.

Die verschiedenen Arten der Verdunkelung des Auges, als der graue, grüne und schwarze Staar, müssen wohl schon mehr zu den eigentlichen Augenkrankheiten gerechnet werden. Der graue Staar besteht in einer Trübung der Krystalllinse und wird gewöhnlich dadurch geheilt, daß man die letztere herauszieht, niederdrückt oder zerstückelt. Den grünen Staar betrachtet man als eine Verdunkelung der gläsernen Feuchtigkeit. Der schwarze Staar zeigt sich bei anscheinend völliger Klarheit des Auges als eine starke Erweiterung und Unbeweglichkeit der Pupille; er ist gewöhnlich unheilbar und hat seinen Grund in einer Lähmung des Sehnerven oder Unempfindlichkeit der Retina. — Die Verdunkelung des Auges ist auch eine Folge von Flecken und dunklen Häuten auf der Hornhaut, von Mangel der wässerigen Feuchtigkeit und von Verwachsung des Sterns.

Zu den Gesichtsfehlern gehört die Kurz- und Weitsichtigkeit. Die Weitsichtigen sehen in der gewöhnlichen Sehweite schlecht, daher sie z. B. um zu lesen, die Schrift in ungewöhnlich weiter Entfernung vom Auge halten müssen. Um in der Nähe sehen zu können, bedürfen sie eines starken Lichtes und müssen die Augen stark anstrengen. Auch erscheint die Schrift in der gewöhnlichen Entfernung nicht selten doppelt. Der Grund der Weitsichtigkeit ist häufig eine geringe Erhabenheit der Hornhaut und unzulängliche Convexität der Linse. Daher fallen die Brennpunkte der Lichtstrahlen von nahe gelegenen Gegenständen hinter die Netzhaut, während sich auf dieser selbst sog. Zerstreuungskreise bilden. Es ist übrigens möglich und sogar wahrscheinlich, daß die Weit- oder Fernsichtigkeit in manchen Fällen, bei sonst ganz normalen Augen, nur ihren Grund in einer mangelhaften Accommodation für nahe und kleine Objecte hat. So kommt es nicht selten vor, daß Personen, die vermöge ihrer äußeren Beschäftigungsweise auf das Erkennen weit entfernter Objecte angewiesen sind, kleine Gegenstände in der Nähe nicht deutlich zu unterscheiden vermögen, während sie sehr weit und scharf in die Ferne sehen. — Die Kurzsichtigkeit besteht darin, daß das Auge nur von nahen, nicht aber von fernen Gegenständen ein deutliches Bild giebt. Der Grund derselben kann zu große Convexität der Hornhaut und der Krystalllinse sein. Hier fallen die Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen, welche von fernen Gegenständen kommen, vor die Netzhaut, und auf dieser entstehen wieder Zerstreuungskreise anstatt scharfer Bilder. Sie ist in manchen Familien erblich, sehr häufig aber entsteht sie auch erst durch Mißbrauch der Augen, durch zu anhaltendes Lesen kleiner Schrift, die Angewohnheit, die Bücher beim Lesen und das Papier beim Schreiben zu nahe vor die Augen zu bringen. Und so ist denn auch die Kurzsichtigkeit oft nichts anderes als die mehr oder weniger bedeutende Unfähigkeit des Auges, sich bequem für andere Entfernungen zu adjustiren, als diejenige ist, an welche man

sich bei anhaltendem Lesen und Schreiben gewöhnt hat. Bekanntlich bedient man sich, um die Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit aufzuheben, der **Brillen** (s. d. Art.). Um die Wirkung der Brillengläser zu zeigen, bediente man sich wol mitunter auch künstlicher Augen, sog. Kunstaugen *).

Zu unterscheiden von der Fern- und Kurzsichtigkeit ist die **Gesichtsschwäche**, die allerdings auch mit dem einen oder andern von diesen beiden Gesichtsfehlern verbunden auftreten kann. Sie besteht in einer baldigen Ermüdung des Auges, das wohl sonst (auf kurze Zeit) nahe und ferne Gegenstände scharf zu erkennen vermag. Die Gegenstände erscheinen dann bald wie verschleiert und das fortgesetzte Sehen verursacht Anstrengung und Schmerz in der Umgebung des Auges.

Zu den Gesichtsschwächen rechnet man auch das sog. **Tagsehen**, die **Nacht-** oder **Hühnerblindheit**, die in einer gewissen Unempfindlichkeit der Netzhaut besteht, und sich dadurch äußert, daß das Auge nur bei hellem Sonnenschein zu sehen im Stande ist, bei schwachem Lichte dagegen mehr oder weniger blind ist. Zuweilen ist diese Schwäche angeboren und in den Tropengegenden soll sie sehr häufig vorkommen. — Das **Nachtsehen**, die **Tagblindheit** besteht dagegen in einer großen Reizbarkeit der Netzhaut und äußert sich dadurch, daß man, während man helles Tageslicht nicht zu ertragen im Stande ist, bei wenigem Lichte gut sieht, wo ein gewöhnliches Auge nicht mehr zu sehen vermag. Diese Schwäche kann bis zur Lichtscheue gehen, wo das Auge fast keinen Lichtstrahl ertragen kann. Dieselbe entsteht mitunter durch zu langen Aufenthalt im Dunkeln, wo sich dann die Empfindlichkeit des Auges gegen die geringe Menge des vorhandenen Lichtes steigert. Die Kakerlaken oder Albinos leiden ebenfalls an der Tagblindheit, weil bei ihnen das schwarze Pigment im Auge fehlt, und Blendung durch das Licht stattfindet. — Durch das Ansehen blendend heller Gegenstände, z. B. des Schnees, kann eine schmerzhafte Reizbarkeit des Auges, bis zur Entzündung des letzteren, hervorgebracht werden. Hierher gehört die in den Polargegenden häufig vorkommende **Schneeblindheit**.

Gelegentlich haben wir schon das **Schielen** hervorgehoben, das stattfindet, wenn die beiden Augen die ihnen im normalen Zustande eigenthümlichen übereinstimmenden Bewegungen, etwa in Folge einer Muskellähmung oder auch anderer Ursachen, mehr oder weniger eingebüßt haben, so daß es denselben schwer fällt oder gar unmöglich ist, ihre Axen zugleich auf denselben Gegenstand zu richten und sie gerade hier zum Durchschneiden zu bringen. Zuweilen liegt der Fehler in beiden Augen, zuweilen auch nur in einem Auge. Das Schielen ist mitunter angeboren, mitunter auch nur eine üble Angewöhnung. Es wird dann meist nur mit dem einen Auge gesehen, während das andere beim Sehen nicht thätige Auge in schiefer Richtung gehalten wird.

Selten vorkommende Gesichtsfehler sind das sog. **Schiefsehen** und **Halbsehen**. Das Schiefsehen besteht darin, daß das Auge nur außerhalb seiner Axe befindliche Gegenstände sieht und sich seitwärts drehen muß, um ein Bild von denselben zu erhalten. Als Ursache dieses Fehlers werden Unempfindlichkeit der Netzhaut in der Axe des Auges, schiefe Lage der Pupille oder der Krystalllinse, endlich

*) **Priestley**, Geschichte der Optik S. 143. **Wolf**, nützliche Versuche Bd. III S. 481. **Adam**, Essay on Vision etc. übers. von **Kries**.

Verdunkelung des vorderen Theiles der Hornhaut angegeben. Das Halbsehen*), wo nämlich dem Auge die eine Hälfte des Gegenstandes, nach dem es hingerichtet ist, verschwindet, hat verschiedene Gründe. Wallaston**) führt mehrere Beispiele eines vorübergehenden, aber wiederkehrenden Halbsehens an, welche eine Folge von Nervenaffectionen waren. Die Fälle von bleibendem Halbsehen sind zum Theil Folgen äußerer Verletzung des Auges. So beobachtete Larrey, daß das rechte Auge eines Gardisten Lecoeur durch einen Stich mit einem knopflosen Rappier, welches zwischen dem rechten Augapfel und der innern Wand der Augenhöhle eingedrungen war, das Sehvermögen in der Art verlor, daß es alle Gegenstände, welche jenseits einer durch seine Axe gehenden verticalen Ebene rechts befindlich waren, nicht erkannte, sondern statt dessen nur einen schwarzen Fleck wahrnahm***). Andere Fälle von Halbsehen sind folgende: Eine Frau sah, wie Crawford****) berichtet, von allen verticalen Gegenständen blos die rechte Seite, z. B. von vier lothrechten Fingern sah sie zwei deutlich, den dritten undeutlich, den vierten gar nicht. Wurden die vorgehaltenen Finger bei unveränderter Richtung der Augenaxen rechts bewegt, so wurden sie sämmtlich nach einander sichtbar, verschwanden dagegen bei einer Bewegung nach der linken Seite. Merat erzählt von einem alten Manne, welcher die Gegenstände unter einer horizontalen Ebene (durch seine Augenaxe) nicht sah. Einen ähnlichen Fall beobachtete Rudolphi †) an einem Manne, bei welchem die untere Hälfte der Netzhaut gelähmt war und welcher daher den oberen Theil eines vor ihm stehenden Schrankes nicht wahrzunehmen vermochte.

Gillies ††) erwähnt eine bemerkenswerthe vorübergehende Abnormität seiner Augen. Es begegnete ihm nämlich in regellosen Zwischenräumen, daß die Gegenstände ihm allmälig weiter wegzurücken und kleiner zu werden schienen, nach zwei bis acht oder zehn Minuten aber ihren vorigen Abstand und ihre gewöhnliche Größe wieder annahmen. Diese Anfälle stellten sich anfangs seltner ein, dann häufiger, und eben so nahm das Uebel auch wieder ab, kam aber nie, wenn die Augen angestrengt, z. B. mit Lesen beschäftigt waren. An Deutlichkeit verloren die gesehenen Gegenstände auf keine Weise, auch zeigten Linsengläser keine Wirkung.

Das sog. falsche Sehen (Pseudoblepsis) besteht endlich darin, daß nicht wirklich existirende, d. h. den Augen sich nicht wirklich darbietende Gegenstände (scheinbar) mit den Augen wahrgenommen, oder wirklich existirende Gegenstände anders als sie sind, wahrgenommen werden. Die erstere Art des Falschsehens gehört zum Theil ins Gebiet der Psychologie, und beruht der Hauptsache nach darauf, daß reproducirte (wiedererweckte) Gesichtsvorstellungen, meist unter Einfluß gewisser Nervenzustände, eine solche Lebhaftigkeit gewinnen, daß sie durch ihre gewissermaßen sinnliche Klarheit täuschen und den Glauben an die wirkliche Gegenwart der ihnen

*) Vater: Oculi vitia duo rariss. visus duplicatus et dimidiatus. Viteb. 1723. in Halleri diss. med. pract. Vol. I. Phil. Trans. XXXIII. p. 147.
**) Ann. of Phil. 1824. Apr. 305.
***) Gehler's phys. Wörterbuch. N. A. Bd. IV. S. 1419.
****) Lond. Med. and Phil. Journal; Ann. of Phil. N. Ser. Nr. LXX.
†) Physiologie II. S. 227.
††) Edinb. Phil. Journ. III. p. 57.

entsprechenden äußeren Objecte veranlassen können. Hierher gehören also die sog. Hallucinationen (Sinnesvorspiegelungen), die nicht allein auf die Gesichtsvorstellungen beschränkt sind, sondern auch bei andern Vorstellungen, namentlich denen des Gehörs vorkommen. Gesichts- und Gehörhallucinationen finden sich am häufigsten *), seltner Geruchshallucinationen. Zu der zweiten Art des Falschsehens können unter anderem auch die Fälle gerechnet werden, in welchen man einem wirklich gesehenen Gegenstande unangemessene Eigenschaften beilegt. Und dies ist es auch, was man eine Illusion oder einen Sinnestrug nennt, obschon der Irrthum hier meist nicht sowohl in der unmittelbar gegebenen Gesichtsempfindung, als vielmehr in dem begleitenden Urtheil liegt.

Zu der ersten Art des falschen Sehens rechnete man früher auch eine häufig vorkommende Erscheinung, welche darin besteht, daß man vor den Augen, namentlich wenn sie gegen helle Gegenstände gerichtet sind, eine Menge schwarzer (schattiger) Punkte, Fäden, Netze oder Schnüre sich bewegen sieht. Man nennt dieselben fliegende Mücken (mouches volantes). Die Ursache ihrer Erscheinung liegt in feinen, höchstens $^{1}/_{120}$ Linie im Durchmesser haltenden Partikelchen, die in der Glasfeuchtigkeit suspendirt sind, und nach Brewster **), der den scheinbaren Durchmesser der mouches volantes und den Abstand jener Partikelchen von der Netzhaut bestimmte, rühren die letzteren von den Resten der Gefäße her, welche die Glasfeuchtigkeit umschließen. Indem sie nun auf der Netzhaut Schatten und Streifen gebeugten Lichtes hervorbringen, veranlassen sie die betreffende Erscheinung, die übrigens auch in ganz gesunden Augen, oft sehr lange anhaltend, vorkommt.

Mitunter sieht man auch die feinen Blutgefäße, welche zwischen den oberflächlichen Nervenfasern und Zellen der Netzhaut von der Eintrittsstelle des Sehnerven her sich verbreiten, in der Gestalt einer baumartig verästelten Figur, wenn man in einem sonst dunklen Raume mit einem Kerzenlichte vor dem Auge hin und her fährt. Indem die Adern durch das unregelmäßig einfallende Licht erhellt werden, werfen sie ihre Schatten auf die (früher erwähnte) Stäbchenschicht. Man hat nun auch aus diesem Versuche den Schluß gezogen, daß die Stäbchenschicht die eigentliche lichtempfindliche Fläche sei, insofern nämlich jene Gefäße hinter der Nervenfaserlage befindlich sind.

Was die langen Strahlen betrifft, die man bei gesenkten Augenlidern an einem leuchtenden Gegenstande, z. B. an einer Kerzenflamme, nach oben und unten ausfahrend, wahrnimmt, so suchte man dieselben früher nach Vieth ***) durch eine Reflexion der Lichtstrahlen (der Flamme) an den Rändern der Augenlider zu erklären. Mousson und auch Schwerd leiteten dieselben jedoch vollständiger aus einer Brechung der Lichtstrahlen in der sich zwischen dem Augenlide und der Cornea ansammelnden Feuchtigkeit ab ****). Und diese Ansicht wurde fast allgemein angenommen. Neuerdings hat sich auch H. Meyer *****) specieller mit

*) Einige hierher gehörige Fälle erzählt Brewster in Edinb. Journ. of Sc. N. Ser. N. IV. p. 218 u. 319. N. VI. p. 244; London and Edinb. Phil. Mag. N. III. p. 169; auch in Marbach's phys. Lexicon, 1. Ausg. Bd. IV. S. 663 findet sich diese Erzählung.

**) Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXXII. p. 1.

***) Gilb. Ann. Bd. XIX. S. 187 ff.

****) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 244.

*****) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 429.

dieser Erscheinung befaßt und sie ebenfalls aus einer Brechung der Lichtstrahlen erklärt. Der von der Lichtflamme nach oben gerichtete Strahl entsteht, sobald das untere Augenlid so weit heraufkommt, daß es vor die Pupille tritt, der nach unten gerichtete, sobald man das obere so weit senkt, daß es vor die Pupille kommt. Schließt man das Auge so weit, daß beide Ränder vor die Pupille kommen, so sieht man gleichzeitig die nach oben und unten gerichteten Strahlen. Die Thränenfeuchtigkeit bildet nun da, wo sich das Augenlid an das Auge anlegt, einen erhöhten Saum; vermöge der Fettigkeit des Augenlidrandes ist dieser feuchte Saum aber nach Meyer nicht ununterbrochen, sondern besteht vielmehr aus lauter kleinen Viertelcylindern. Die durch diese Cylinder abgelenkten Lichtstrahlen convergiren in Ebenen winkelrecht auf die Axen der Cylinder und müssen so im Auge divergirende Strahlen erzeugen, ähnlich wie Lichtlinien, die sich innerhalb der Brennweite befinden. In der Richtung der Axe eines jeden Cylinders findet ein derartiges Convergiren der Strahlen nicht statt, daher bilden sich im Auge gerade Strahlen, wie man sie auch wahrnimmt, deren Breite von der Breite der Lichtquelle abhängt.

Außer den eben besprochenen langen Strahlen bemerkt man, namentlich in größerer Entfernung von der Lichtquelle, noch weit kürzere, mehr parallele, fast immer stark durch Interferenzen unterbrochene und zum Theil gefärbte Strahlen auf der den langen Strahlen entgegengesetzten Seite. Sind die langen Strahlen nach unten gerichtet, so erscheinen diese kleinen intensiven Strahlen, auf welche Meyer aufmerksam gemacht, oben, und umgekehrt. Meyer schließt hieraus, was auch Versuche durch Verdecken und Wegziehen des Augenlides bestätigten, daß die nach oben gerichteten kleineren Strahlen vom oberen, die nach unten gerichteten vom unteren Augenlide und zwar durch Reflexion verursacht werden. Ein Theil der auf jene Cylinder auffallenden Strahlen wird nämlich nicht durch dieselben gebrochen, sondern reflectirt und erzeugt im Auge diese kleinen Strahlen. Die letzteren sind, wie schon bemerkt, von dunkeln Interferenzstreifen unterbrochen. Die Breite der hellen Streifen (Fransen) ist nicht gleich; der äußerste helle Streif ist der breiteste, und sie werden um so schmäler, nämlich der Abstand zweier auf einander folgender dunkler Streifen um so kleiner, je näher sie dem Bilde der Lichtquelle liegen. Bei weißem Lichte zeigen sie auch farbige Ränder; die dem Bilde der Lichtquelle zugewendeten farbigen Säume sind roth, die von der Lichtquelle abgewendeten blau. Nach Meyer *) werden nun diese Interferenzstreifen durch das von den kleinen Wassercylindern reflectirte, im Auge divergirende Licht beim Vorbeigange an der Iris erzeugt, so daß dieselben also eine Beugungserscheinung (im Auge) sind. Die Beugung erfolgt in einem kleinen, ziemlich als gerade anzunehmenden Theile der Pupille, und daher kommt es auch, daß die Interferenzlinien, ungeachtet die Breite der kurzen Strahlen nicht unbedeutend ist, doch nur eine unbedeutende Krümmung zeigen.

Meyer **) machte auch über den die Flamme eines Lichtes umgebenden Hof eine Reihe von Beobachtungen. Wenn man nämlich eine Lichtquelle, z. B. die Flamme eines gewöhnlichen Kerzenlichtes, mit einiger Aufmerksamkeit betrachtet,

*) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 603.
**) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 235.

so nimmt man um die Flamme deutlich einen Lichthof wahr. Schon bei flüchtiger Beobachtung tritt ein die Lichtquelle zunächst umgebender und mit derselben gleichfarbiger Ring hervor, der außen von einem rothen Ringe eingeschlossen wird. Bei genauerer Betrachtung läßt sich aber auch noch ein blaugrüner und äußerer rother Ring unterscheiden. Die Ursache dieses Lichthofes liegt ohne Zweifel im Auge, und wird durch Licht erzeugt, das von der Lichtquelle ausgeht und im Auge abgelenkt wird. Nur über die Art und Weise, wie dieser Hof im Auge gebildet wird, herrschen verschiedene Ansichten. Nach Newton und Cartesius findet blos eine Ablenkung und Zerlegung der Lichtstrahlen durch Brechung statt, Brougham und Brandes sehen darin eine Beugungserscheinung und Brewster postulirt eine im Auge stattfindende Reflexion an der concaven Oberfläche der Krystalllinse oder an der Cornea. Nach Meyer ist die Ursache sowohl des (gelben) Hofes als auch der farbigen Ringe die Beugung des Lichtes beim Durchgang durch ein enges Netz. Brougham nimmt aber als Ursache der Beugung die feinen und undurchsichtigen Fasern an, welche die Haut auf der Cornea bilden, und Brandes die feinen undurchsichtigen Verdichtungen, die auf der Haut des Auges befindlich seien; nach Meyer ist es jedoch, wie Versuche mit einer befeuchteten Glasplatte zeigen, keineswegs nöthig, daß die beugenden Oeffnungen durch undurchsichtige Zwischenräume getrennt seien, sondern es genügt schon, wenn die Zwischenräume das Licht anders brechen. Hiernach könnte nun die Beugung auch geschehen durch die das Auge bedeckende Schicht von Fett und Wasser, durch die Structur des die Cornea bedeckenden Theiles der Bindehaut, durch die vordern Linsenkapsel, durch die unter der vorderen Linsenkapsel befindliche Zellenlage (Morgagni'sche Feuchtigkeit), durch die Structur der Linse &c., oder durch mehrere dieser Ursachen zugleich.

Man beobachtet diesen Lichthof auch bei reinem, vom Sonnenlichte nicht mehr erhellten Himmel am Mond; und der bei reinem Himmel um den Mond sichtbare Hof ist hiernach in vielen Fällen keine in der Luft erzeugte Beugungserscheinung, sondern im Auge des Beobachters begründet.

Die Thatsache, daß, wenn ein Theil der Netzhaut durch starkes Licht gereizt wird, der anliegende Theil der Netzhaut seine Empfindlichkeit verliert, erklärt sich nach Meyer durch den hierbei auftretenden Lichthof. Und so sei dieser Lichthof denn auch die Ursache, weshalb ein Gegenstand in der Nähe eines helleren dunkler erscheint, als er es ist; weshalb man auf einem, gegen das Tageslicht gehaltenen, beschriebenen Blatte Papier die Schrift nicht lesen kann, während doch die auf dem Blatte selbst vorhandene Helligkeit hierzu ausreicht. Bei vielen Erscheinungen der farbigen Nachbilder, Complementär- und Contrastfarben soll dieser Hof von Einfluß sein, namentlich was die Erscheinungen auf den vom farbigen Lichte nicht direct getroffenen Stellen betrifft. Auch scheint derselbe nach Meyer eine Erklärung der Löwe'schen Farbenringe zu geben. Diese Ringe *) zeigen sich beim Durchsehen durch gefärbte Flüssigkeiten; am auffallendsten bei sogenannten dichromatischen Mitteln, z. B. bei einer klaren Auflösung von Chromchlorid in Wasser. Sieht man durch dieses seladongrüne Medium gegen einen hellen Grund, gleichviel ob dasselbe dicht vor das Auge gehalten oder in die Entfernung des deutlichen

*) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 403; Bd. LXXXVIII. S. 451.

Sehens gebracht wird, so bemerkt man in der Sehrichtung auf dem grünen Grunde violette Ringe. Aehnliches beobachtet man bei einer Auflösung von Chromalaun. Kupferchlorid, essigsaures Kupferoxyd zc. geben keine Ringe, sondern nur einen etwas lebhafter gefärbten, helleren Fleck. Die zuletzt angeführten Substanzen gehören zu den sogenannten einfarbigen Mitteln, eben so auch die Lösung von Kupferoxyd in Ammoniak; bei dieser erscheinen jedoch die Ringe ebenfalls, aber gleichfarbig mit dem Grunde und nur durch größere Dunkelheit davon abstechend.

Haidinger entdeckte, daß sich das polarisirte Licht auch unmittelbar durch das Auge erkennen läßt, insofern nämlich, als man in demselben zwei blaßgelbe Büschel wahrnimmt, deren Verbindungslinie senkrecht zur Richtung der Schwingungen ist. Das von einer weißen, mäßig erleuchteten Wolke reflectirte Licht ist nicht polarisirt. Läßt man nun solches Licht auf das Auge wirken und bringt dann schnell vor das letztere ein Nicol'sches Prisma, so erscheinen beim Drehen dieses Prisma mit dem polarisirten Lichte jene gelben Büschel. Auch kann man bei schärferer Beobachtung außer diesen Büscheln noch zwei andere mit complementärer (blauvioletter) Farbe wahrnehmen, deren Stellung senkrecht zu jenen ist. Ueber die Entstehung dieser Polarisationsbüschel (im Auge) giebt es verschiedene Ansichten. Nach Haidinger *) könnten dieselben auf dem Princip der farbigen Dispersion, veranlaßt durch die unvollkommene Achromasie des Auges, beruhen. Auch schließen sich an diese Büschel (nach Haidinger) unmittelbar die Löwe'schen Ringe, die mit denselben im polarisirten Lichte erscheinen und sie einschließen. Die Größe der Pupille hat nach Wertheim einen nicht unwesentlichen Einfluß auf die Erscheinung. Die Ringe wären nun, wie Haidinger bemerkt, durch einen zarten Schatteneindruck hervorgebracht, und zwar der mittlere helle Theil als Bild der Pupille selbst umgeben von Zerstreuungssäumen **).

Ein merkwürdiger Gesichtsfehler ist das Unvermögen, gewisse Farben zu erkennen und zu unterscheiden (Achrupsie). Ein Schuhmacher in Cumberland konnte (nach Brewster), wie es schien, fast gar keine Farbe von der anderen unterscheiden; es gab für ihn nur Weiß und Schwarz. Ein gewisser Scott erzählte von sich selbst, daß es keine grüne Farbe für ihn gebe; Nelkenbraun und Blaßblau kamen ihm gleich vor; oft war er nicht im Stande, gesättigtes Purpurroth von tiefem Dunkelblau zu unterscheiden. Dagegen unterschied er Hell-, Dunkel- und Mittelgelb, und alle Nüancen von Blau, mit Ausnahme des Himmelblau. Ein gewisser Collardo konnte blaue und gelbe, so wie auch rothe und grüne Strahlen nicht unterscheiden ***). Harvey erzählt von einem Schneider, welcher einen carmoisinrothen Lappen auf den Ellenbogen eines blauen Kleides setzte. Ein anderer sah im Spectrum des Sonnenlichts blos Blau und Gelb ****). Der berühmte Chemiker Dalton konnte Blau von Blaßroth nicht unterscheiden, im Regenbogen bemerkte er das Roth gar nicht, und das Ganze schien ihm nur aus

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 314.
**) S. a. a. O. S. 321 ff.
***) Phil. Trans. T. LXVII. 1. p. 14; T. LXVIII. 2. p. 611. Journ. de Ph. T. XII. p. 86.
****) Edinb. Phil. Trans. T. X. p. 253. Edinb. Journ. of Science. T. VII. p. 85.

zwei Farben, Gelb und Blau zu bestehen *). Daher nennt man wohl auch den mangelnden Farbensinn Daltonismus.

Nicholl erzählt: Ein gesunder Knabe von 11 Jahren, mit grauen Augen und einem gelben Ringe um die Pupille, erkennt von allen Farben nur Grau, Dunkelgrün und Braun, und verwechselt jenes mit gewissen Arten von Braun. Hellgrün nennt er hellroth, gemeines Grün roth, Hellroth und Zinnoberfarbe hellblau. Durch ein Prisma kann er nur drei Farben, Roth, Gelb und Purpur unterscheiden. Grüne Brillen, durch welche er sah, nannte er roth, und sagte, alle Gegenstände, welche er durch dieselben betrachtet, hätten einen rothen Schein. Die Schwestern und die Mutter dieses Knaben sahen richtig, der Vater seiner Mutter litt aber an demselben Uebel. Aehnliches erzählt Nicholl von einem Manne, der Grün und Roth fast gar nicht von einander unterscheiden konnte. Er hatte übrigens ein scharfes, deutlich in die Ferne sehendes Gesicht **). Ein gewisser Tucker unterschied nur folgende drei Farbenklassen: 1) Roth und Braun; 2) Blau, Blaßroth, Indigo, Violett und Purpur; 3) Grün und Orangefarben. Die Schattirungen des Grün konnte er unterscheiden, aber nicht alle von Orange. Im Regenbogen fand er nur zwei Farben, die er Gelb und Blau nannte. Schwarze, weiße und gelbe Körper unterschied er mit Sicherheit, die Schattirungen von Weiß aber nicht. Entengrün war ihm roth, saftgrün orange. Uebrigens war sein Auge gesund, sah scharf und unterschied die Formen der Körper in der Nähe und in der Ferne ***). Brandis ****) erzählt von sich selbst, daß er Hellblau und Rosenroth nicht unterscheiden könne, Grün und Blau, Gelb und Roth zwar leicht verwechsele, dagegen Rothgelb und Grün in dunklen Tinten, Blau und Roth in hellen gewöhnlich. Sein Neffe habe eine Seidenhandlung verlassen müssen, weil er Himmelblau und Rosenroth nicht zu unterscheiden vermochte.

Nach einer Zusammenstellung von Wardrop †) über diesen Gesichtsfehler findet in Rücksicht auf Blau und Gelb fast nie ein Irrthum statt, während alle anderen Farben als Abänderungen dieser beiden erscheinen.

Herschel ††) stellte Versuche mit dem Auge eines Optikers an, das mit diesem Fehler behaftet war, und benutzte dabei die durch polarisirtes Licht vermittelst eines Glimmerblättchens erzeugten Farbenbilder. Das Auge unterschied nur blaue und gelbe Färbung. Herschel schließt, daß der Fehler nicht von einer eigentlichen Unempfindlichkeit der Retina gegen Lichtstrahlen von gewisser Brechbarkeit herrühren könne, weil die Gegenstände, welche diese Strahlen reflectiren, wirklich gesehen würden, und eben so wenig von einem färbenden Stoffe in einer der Flüssigkeiten des Auges, der gewisse Farbestrahlen nicht zur Retina gelangen lasse, sondern vielmehr von einem Mangel im Sensorium (Gehirn), durch welchen verhindert werde, diejenigen Unterschiede der Lichtstrahlen aufzufassen, von denen die Verschiedenheit der Farben abhänge. Es habe den Anschein

*) Edinb. Journ. of Sc. New Ser. N. IX. p. 88.

**) Medico-chir. Trans. T. VII. p. 477; T. IX. p. 359.

***) Edinb. Phil. Journ. T. XI. p. 135. Archiv für Physiol. von Meckel x. Bd. V. S. 260.

****) Goethe zur Naturw. und Morphologie. 1. Heft 4. S. 297.

†) Essays on the morbid anatomy of the human eye. Lond. 1818. T. II. p. 196. Deutsch. Arch. Bd. V. S. 262.

††) Art. „Light", Encyclop. metrop. T. II. p. 434.

als ob von den betreffenden Personen der Eindruck aller stärker brechbaren Strahlen durch Blau, aller weniger brechbaren durch Gelb bezeichnet werde.

Weitere Beobachtungen über diesen Gesichtsfehler machte A. Seebeck *) an zwölf Personen. Derselbe ist, wie Seebeck bemerkt, überhaupt häufiger als man gewöhnlich glaubt, nicht selten erblich und mehren Gliedern einer Familie gemeinsam. Es wird jedoch sehr oft das Vorkommen eines solchen Mangels unbeachtet bleiben, indem zuweilen die nächsten Angehörigen solcher Personen, ja sogar diese Personen selbst ihn nicht gewahr werden. Seebeck bediente sich bei seinen Beobachtungen eines Vorraths von 300 farbigen Papieren, die den zu prüfenden Individuen nach und nach zur Anordnung übergeben wurden. Aehnliche Versuche wurden auch mit farbigen Gläsern gemacht. Als Resultat der (am citirten Orte) im Einzelnen mitgetheilten Beobachtungen giebt Seebeck Folgendes an:

Außer solchen Personen, welche in der Bestimmung der Farben Schwierigkeit finden, ohne jedoch ungleiche Farben für gleich zu halten, kommen nicht selten solche vor, die, bald in höherem, bald in geringerem Maße, gewisse ganz ungleiche Farben mit einander verwechseln. Aber nicht nur in Beziehung auf die Stärke, sondern auch in Beziehung auf die Art dieser Verwechselungen sind Unterschiede bemerkbar. In der letzteren Beziehung zerfallen die untersuchten Individuen, kleinere Verschiedenheiten nicht gerechnet, in zwei Klassen. Die zur ersten Klasse gehörigen verwechseln folgende Farben mehr oder weniger mit einander:

Helles Orange mit reinem Gelb. — Gesättigtes Orange, helles Gelblich-, oder Bräunlichgrün und Gelbbraun. — Reines Hellgrün, Graubraun und Fleischfarb. — Rosenroth, Grün (mehr bläulich als gelblich) und Grau. — Carmoisin, Dunkelgrün und Haarbraun. — Bläulichgrün und unreines Violett. — Lila und Blaugrau. — Himmelblau, Graublau und Graulila.

Als das Wesentliche ihres Gesichtszustandes ergab sich Folgendes: Sie haben einen sehr mangelhaften Sinn für den specifischen Eindruck aller Farben überhaupt; am unvollkommensten ist er für das Roth und für das complementäre Grün, indem sie diese beiden Farben vom Grau wenig oder gar nicht unterscheiden; nächstdem für das Blau, das sie auch vom Grau ziemlich unvollkommen unterscheiden; am meisten ausgebildet pflegt ihr Sinn für das Eigenthümliche des Gelb zu sein; doch ist ihnen auch diese Farbe viel weniger vom Farblosen verschieden, als dies beim normalen Auge der Fall ist.

Auch die zur zweiten Klasse gehörigen Personen erkennen Gelb noch am besten; sie unterscheiden Roth etwas besser, Blau etwas weniger vom Farblosen, vorzüglich aber Roth von Blau viel unvollkommener als die erste Klasse. Die von ihnen verwechselten Farben sind nämlich folgende:

Hellorange, Grünlichgelb, Bräunlichgelb und reines Gelb. — Lebhaft Orange, Gelbbraun und Grasgrün. — Ziegelroth, Rostbraun und Dunkelolivengrün. — Zinnoberroth und Dunkelbraun. — Dunkelcarmoisinroth und Schwärzlichblaugrün. — Fleischroth, Graubraun und Bläulichgrün. — Mattes Bläulichgrau und Grau (etwas bläulich). — Unreines Rosa (etwas gelblich) und reines Grau. — Rosenroth, Lila, Himmelblau und Grau (etwas ins Lila fallend). — Carmoisin und Violett. — Dunkelviolett und Dunkelblau. —

*) Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 177.

Sie haben, was bei der ersten Klasse nicht der Fall ist, nur eine geschwächte Empfindung von den weniger brechbaren Strahlen. Und dieser Umstand ist es allein oder vorzugsweise, auf welchem der Unterschied zwischen beiden Klassen beruht; denn derselbe erklärt nicht nur, warum Roth von der zweiten Klasse mit dunklerem Grün, als von der ersten verwechselt wird, sondern es lassen sich auch wohl die übrigen Unterschiede beider daraus ableiten, wenn man bedenkt, daß durch den Mangel der gelbrothen Strahlen erstlich das farblose Licht dem Blau (wenigstens dem Blau der ersten Ordnung) näher kommt, und zweitens auch Roth (wenigstens ein aus den beiden Enden des Spectrums gemischtes) näher dem Blau oder Violett. Seebeck fand auch, daß in der Dämmerung der Zustand der ersten Klasse in den der zweiten übergeht, weil nämlich in der Dämmerung die weniger brechbaren Strahlen zuerst aus dem Lichte der Atmosphäre verschwinden, wodurch die bekannten Aenderungen in dem Ansehen der Farben entstehen.

Nach Seebeck lassen sich alle ihm bekannt gewordenen Fälle (und dazu gehören auch die weiter oben angeführten) in die eine oder andere der beiden so eben betrachteten Klassen bringen; nur scheine zuweilen eine Verwechselung von Grün und Blau und also eine schwächere Wahrnehmung für Gelb im höheren Grade stattzufinden *), als ihm vorgekommen sei.

Purkinje **) unterscheidet vier Klassen dieses Gesichtsfehlers, von denen sich zwei auf die Stärke, die beiden anderen auf die Art desselben beziehen. Doch sind die letzteren nach Seebeck nicht merklich von einander verschieden und die dahin gerechneten Fälle gehören sämmtlich zu Seebeck's zweiter Klasse ***).

Man hat bemerkt, daß dieser Fehler viel häufiger bei blauen als bei braunen Augen stattfindet; auch unter den von Seebeck untersuchten Fällen sind nur zwei der letzteren Art. Doch hat dies wohl, wenigstens zum Theil (wie Seebeck glaubt), seinen Grund darin, daß blaue Augen bei uns überhaupt häufiger sind, als braune; eben so in England, von wo wir die meisten Beschreibungen ähnlicher Fälle haben. — Beim weiblichen Geschlechte findet sich dieser Fehler höchst selten. —

Beiläufig erwähnen wir hier noch das Sehen sogenannter falscher Farben, was bei gewissen Krankheiten, z. B. der Gelbsucht, vorkommt. Auch wird von Boyle ****) erzählt, daß einst die an der Pest Erkrankten an Kleidern und sonstigen Gegenständen Regenbogenfarben wahrnahmen. —

Zum Schlusse unserer Betrachtungen über das Sehen erinnern wir noch, daß die verschiedenen einfachen Farbenempfindungen, insofern sie von außen erregt werden, nach der Undulationstheorie des Lichtes durch Aetherwellen von ungleicher Länge veranlaßt werden. Es ist nun sehr wahrscheinlich, daß der (von außen) ungereizte Sehnerv schon eine Menge von Reizzuständen enthält, vermöge deren

---

*) Gall, Anat. et physiol. du syst. nerveux. T. IV. p. 98. Rozier, Observ. sur la phys. T. XIII. Brewster's Briefe über die natürliche Magie. S. 44 der Uebersetzung. Helling, Prakt. Handb. der Augenkrankheiten. Bd. I. S. 1.

**) Im encyclop. Wörterb. der medic. Wissensch. Bd. I. S. 259.

***) Rücksichtlich der Ursache dieses Fehlers, der nach Einigen seinen Sitz im Sehnerven, nach Anderen im Gehirn hat, kann noch verglichen werden: Wartmann, Mémoire sur le Daltonisme etc. Genève 1844. Brewster, Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. CLXIV. T. XXV. p. 134.

****) Exper. de coloribus. P. 1.

er sich in einer gewissen Stimmung befindet, die durch die verschiedenen Aetherwellen auf eigenthümliche Weise modificirt wird, womit denn auch das Auftreten einer bestimmten Farbenempfindung in nächster Beziehung steht. Jene Stimmung kann aber bei verschiedenen Personen verschiedener Art sein, ohne sich jedoch, wie bei den obigen Fällen von Achrupsie, ins Abnorme zu verlieren; und hiermit mag der ungleiche Grad von Annehmlichkeit oder Unannehmlichkeit, der mit den einzelnen Farbenempfindungen bei verschiedenen Personen verbunden ist, im Zusammenhange stehen, und die Vorliebe für die eine oder andere Farbe veranlassen. Wie abweichend auch in dieser Hinsicht der Geschmack ist, so groß ist doch im Allgemeinen (unter Voraussetzung normaler Augen) die Uebereinstimmung in den Urtheilen des Beifalls und Mißfallens, welche über die Zusammenstellungen verschiedener Farben gefällt werden. Für das gegenseitige Verhalten der Farben müssen also, in ähnlicher Weise, wie bei den Consonanzen und Dissonanzen der Töne, constante Gesetze gelten, die (zum Theil wenigstens) durch die den verschiedenen Aetherwellen zugehörigen Schwingungszahlen bedingt sein werden.

Gehörsinn. Das Organ dieses Sinnes ist das Ohr, das im Ganzen drei Abtheilungen darbietet, eine äußere, mittlere und innere.

Zu der äußeren Abtheilung gehört der von der Haut bedeckte Ohrknorpel mit seinen Muskeln, der Gehörgang und das Trommelfell. Der Ohrknorpel liegt äußerlich, gleicht in Hinsicht seiner Gestalt einer Muschel, ist durch seine Wurzel mit einem Knochen, dem Schläfenbein, verbunden, und mit mehreren Erhabenheiten und Vertiefungen versehen. An seinem Rande wird er durch eine nach außen gerichtete Umbiegung, die Ohrleiste, begrenzt, welche eine mit ihr concentrisch verlaufende Erhabenheit, die Gegenleiste, einschließt. Am unteren Ende des Ohrknorpels sieht man das Ohrläppchen, welches ein weicher, keinen Knorpel einschließender Anhang ist. Die Gegenleiste entsteht mit zwei Schenkeln und endigt sich über dem Ohrläppchen in einen kleinen Vorsprung, welcher die Gegenecke genannt wird. Unter dem vorderen Ende der Leiste und vor der sog. Gegenecke findet man eine abgerundete, knopfförmige Erhabenheit, die Ecke, die eine Art Klappe über den Gehörgang bildet. — Der Ohrknorpel wird durch mehrere Muskeln, die sich an ihn anheften, verschiedentlich gespannt und wohl auch bewegt; doch bemerkt man bekanntlich beim menschlichen Ohre nichts von der großen Beweglichkeit, welche den Ohren vieler Thiere eigenthümlich ist.

Der Gehörgang beginnt in der Ohrmuschel, geht nach innen und wird hinten durch das Trommelfell T (s. umstehende Figur) geschlossen *). Die äußere Hälfte ist knorpelig und bildet den knorpeligen Gehörgang, die innere Hälfte ist im Schläfenbein befindlich und bildet den knöchernen Gehörgang. Beide Hälften sind durch Zellgewebe mit einander verbunden, werden inwendig mit einer Fortsetzung der Haut des äußeren Ohrs, die sich blind im Grunde endigt, indem sie das Trommelfell überzieht, ausgekleidet, und sind mit einer Schicht von Drüsen, den Ohrenschmalzdrüsen, welche eine gelbliche, ölige Feuchtigkeit absondern, versehen. Außerdem ist der Gehörgang nach außen mit Härchen besetzt. Dieser Kanal verläuft nicht in gerader Linie, sondern ist gewunden; seine Weite nimmt,

*) Sömmering, Abbildungen des menschlichen Hörorgans. Frankfurt a. M. 1806. Fol.

je mehr er sich seinem Ende nähert, allmälig ab. — Das innerste Ende des knöchernen Gehörganges ist mit einem kreisförmigen Falz versehen, in welchem das Trommelfell (Paukenfell), die Scheidewand zwischen dem äußeren und



mittleren Theil des Ohres, ausgespannt ist. Es ist eine dünne, faserige, elliptisch-herzförmige, nach innen gewölbte, schräg nach außen und innen gerichtete Haut, die innen von einer zarten Schleimhaut bedeckt ist.

Die mittlere Abtheilung des Gehörorgans begreift die Trommelhöhle (Paukenhöhle), die Eustachische Röhre und die Gehörknöchelchen nebst ihren Muskeln in sich. Die Trommelhöhle (deren Durchmesser nicht ganz einen halben Zoll beträgt) stößt unmittelbar an den äußeren Gehörgang an, und befindet sich in dem sogenannten Schuppen- und Felsentheil des Schläfenbeins. Ihre Gestalt, obgleich unregelmäßig, nähert sich der sphärischen; sie ist ziemlich gleich lang und breit, doch nicht in allen Richtungen gleich tief. In dem vorderen und tiefer gelegenen Theil der Trommelhöhle befindet sich die Oeffnung der Eustachischen Röhre oder Trompete t, welche sich mit einer etwas weiteren Mündung über dem Gaumensegel (hinter den inneren Nasenöffnungen) in der Rachenhöhle öffnet. An der inneren Wand im oberen Theil der Trommelhöhle sieht man eine mit einem zarten Häutchen verschlossene Oeffnung, das sogenannte ovale (eirunde) oder Vorhofs-Fenster e. f, und weiter nach unten noch das ebenfalls mit einem

dünnen Häutchen versehene runde Fenster (Schneckenfenster) r. f. Diese beiden Oeffnungen führen nach der inneren Abtheilung des Gehörorgans.

In der Trommelhöhle befinden sich drei Knöchelchen, die sogenannten Gehörknöchelchen, die mit einander eingelenkt sind und zwischen dem Trommelfell und dem ovalen Fenster, und somit auch dem inneren Theile des Ohres eine Verbindungskette bilden. Das erste von ihnen, der Hammer (s. beistehende Fig. 1), liegt zunächst am Trommelfell, und hat von seiner keulenförmigen Figur oder auch von seiner Lage auf einem anderen Knöchelchen, dem Amboß, seinen Namen erhalten. Man unterscheidet an ihm den Kopf, den Hals, einen vorderen langen,



einen äußeren kurzen Fortsatz, und den Handgriff. Der Handgriff liegt zwischen den zwei inneren Platten des Trommelfells T (Fig. S. 948) und der Kopf lenkt sich nach hinten mit dem Amboß ein. Der letztere, der Amboß (Fig. 2) gleicht einem zweiwurzeligen Backenzahne, und wird in den Körper und in einen kurzen und langen Fortsatz eingetheilt, an welchem sich noch das sogenannte Linsenbeinchen als Knochenvorsprung befindet. Die obere Fläche desselben ist mit dem Kopf des Hammers, der längere Fortsatz mit dem Köpfchen des dritten Gehörknöchelchens, des Steigbügels, durch ein Gelenk verbunden, während er mit dem kürzeren Fortsatz an der oberen Wand der Trommelhöhle befestigt ist. Am dritten Knöchelchen, dem Steigbügel (Fig. 3), das wegen seiner Form diesen Namen in der That verdient, unterscheidet man das Köpfchen, zwei Schenkel, und den Fußtritt. Durch das Köpfchen ist er mit dem langen Fortsatz des Amboßes verbunden und mit dem Fußtritt ruht er auf dem ovalen oder Vorhofs-Fenster (e. f Fig. S. 948), und ist durch die Schleimhaut der Trommelhöhle auf eine lose Weise an deren Ränder angeheftet, so daß er sich in demselben etwas hin und her bewegen kann.

Durch die Thätigkeit dreier Muskeln, die wie die Knochen, an welche sie sich heften, die kleinsten im menschlichen Körper sind, werden der Hammer, der Amboß und der Steigbügel bewegt. Der eine von ihnen ist der Spanner des Trommelfells, der am Halse des Hammers befestigt ist. Der andere, der Erschlaffer des Trommelfells, heftet sich an das Ende des langen Fortsatzes vom Hammer. Der dritte Muskel endlich ist der Steigbügelmuskel, der sich am Kopfe des Steigbügels befestigt. Durch diese Muskeln wird nicht blos die Kette der Gehörknöchelchen bewegt, sondern das Trommelfell wird dadurch auch theils mehr angespannt, theils mehr erschlafft.

Die innere Abtheilung des Gehörorgans macht das Labyrinth aus. Es liegt tief im Felsentheile des Schläfenbeins eingesenkt zwischen dem gemeinschaftlichen Nervengange für die Gehör- und Antlitznerven und der Paukenhöhle. Dasselbe (s. beistehende Figur) besteht aus drei mit einander verbundenen Theilen



oder Höhlen, nämlich dem Vorhofe in der Mitte, den Bogengängen B (b Fig. S. 948) nach hinten und der Schnecke S (s Fig. S. 948) nach vorn. Der Vorhof ist eine kleine eiförmige Höhle, welche sowohl mit den Bogengängen als der Schnecke communicirt, und durch das ovale Fenster mit der Trommelhöhle in Verbindung steht. Aus der hinteren Hälfte des Vorhofes kommen drei enge, kreisförmig gebogene Gänge, die Bogengänge oder halbkreisförmigen Kanäle, deren Ebenen nahezu rechte Winkel bilden; zwei von ihnen sind senkrecht, der andere wagerecht gestellt. Diese Bogengänge kehren mit zwei Oeffnungen in den Vorhof zurück, indem die inneren Enden der beiden senkrechten Gänge sich vorher unter einander vereinigen. Jeder dieser Bogengänge hat an einem seiner Enden eine blasenartige Anschwellung, Ampulle. An den senkrechten Gängen findet sich die Blase an den nicht verbundenen Enden. Der wagrechte Gang hat sie an seinem vordern Ende. Dann befinden sich im Vorhofe noch zwei Grübchen, das halbkreisförmige und das eiförmige, dem gemeinschaftlichen Nervengange gegenüber, von dem sie durch eine dünne und von zahlreichen kleinen Löchern durchbohrte Scheidewand getrennt sind. — Die Schnecke S (s Fig. S. 948), (etwa 4 Linien breit und in der Axe 2½ Linie lang), hat ihren Namen von der Aehnlichkeit mit dem Gehäuse einer Schnecke. Sie besteht aus einem allmälig enger werdenden Gange, welcher sich 2½ Mal um eine sehr kurze wagrechte Axe, die Spindel, in die Höhe windet. Eine im Innern des Kanals befindliche Scheidewand, das Spiralblatt, windet sich mit um die Spindel und theilt ihn in zwei Gänge oder Treppen, eine innere und äußere. Der Theil des Spiralblattes, welcher der Spindel am nächsten liegt, ist knöchern, der andere blos häutig. Dieses Spiralblatt geht jedoch nicht ganz bis zu dem Ende des Kanals, sondern läuft in ein freies, hakenförmig umgebogenes Ende aus, wo die beiden Treppen nicht weit von der Spitze der Schnecke, durch eine kleine Oeffnung mit einander

verbunden sind. Die innere oder untere Treppe, auch Trommel- (Pauken-) Treppe genannt, steht durch das runde Fenster mit der Trommelhöhle in Verbindung, während die obere, äußere (Vorhofs-) Treppe sich in den vorderen unteren Theil des Vorhofs öffnet. Die Spindel liegt wagerecht in die Quere, fängt von dem Orte des gemeinschaftlichen Nervenganges mit einer hohlen Platte an, welche von zahlreichen kleinen Löchern, den Eingängen feiner knöcherner, bis in die Spitze sich erstreckender und an dem Spiralblatte ausmündender Röhren durchbohrt ist, und geht in der letzten Windung der Schnecke in ein dünnes Knochenplättchen aus.

Der Vorhof und die Bogengänge enthalten in ihrem Inneren äußerst feine weiche, röhrenförmige Häute, welche die Gestalt der knöchernen Höhlen haben, jedoch enger als diese sind, so daß ein freier Raum zwischen ihnen und den Knochen bemerklich ist. Jeder knöcherne Bogengang enthält hiernach einen sehr engen, mit einer Blase versehenen häutigen Bogengang. Diese Röhren öffnen sich in einen länglichen Sack, den sogenannten gemeinschaftlichen Sack, welcher in dem eiförmigen Grübchen liegt, und dieser hängt mit dem kleineren rundlichen Sack, der im halbkreisförmigen Grübchen befindlich ist, zusammen. Der Raum zwischen dem häutigen und knöchernen Labyrinth, so wie auch die Säcke werden von einer hellen, eiweißhaltigen Flüssigkeit, dem Labyrinthwasser, erfüllt, und die in den Säckchen befindliche enthält Anhäufungen von sehr kleinen, durch ein zähes Mittel mit einander verbundenen Kalk-Krystallen, die man die Gehörsteinchen oder den Gehörsand nennt. Auf diesen Häuten vertheilt sich der Gehörnerv n, welcher durch die oben erwähnten Löcherchen in den Vorhof und die Bogengänge dringt. Ein Hauptzweig des Nerven dringt durch die durchlöcherte Platte an der Grundfläche der Spindel in diese ein, geht durch die Kanälchen und breitet sich auf dem Spiralblatte aus. Die feinen Nervenfasern liegen dicht neben einander, und tragen nach Kölliker und Corti auf ihrer Oberfläche je drei feingestielte, den Nervenzellen ähnliche Körperchen. Vor der Mitte des häutigen Spiralblattes erscheinen sie mit abgestumpften oder zweizackigen Enden. — Zur Erregung der Tast-, Schmerz- und anderen Empfindungen des Ohres dienen Zweige von einem Ast des fünften Hirnnervenpaares, von dem auch Fasern zu den Zähnen gehen, und des neunten und zehnten Nervenpaares, die auch Zweige zu den inneren Theilen des Halses, insbesondere zur Schleimhaut des Kehlkopfes und Schlundes senden.

Es ist bereits angedeutet, daß die verschiedenen Theile des Gehörorgans eine sehr geschützte Lage haben. So geht der äußere Gehörgang durch den Knochen des Schläfenbeins, und das Labyrinth liegt ganz in dem außerordentlich harten Knochen, den man das Felsenbein nennt. —

Der Gehörnerv wird durch mechanische Einwirkungen auf das Gehörorgan erregt oder in Thätigkeit gesetzt, und der hieraus resultirende Reizzustand des Gehörnerven giebt im Centralorgane zur Empfindung des Schalles Veranlassung. Die Empfindungen bestimmter Töne sind aber meist bedingt durch eine gewisse schwingende Bewegung der Theilchen elastischer Körper, worüber man das Nähere in den Artikeln Wellenbewegung und Ton findet.

Die äußeren Schallwellen werden nun von der Ohrmuschel aufgefangen und durch den Gehörgang zum Trommelfell geleitet, welches dadurch in schwingende Bewegungen versetzt wird, die sich vermittelst der Gehörknöchelchen dem Labyrinthwasser mittheilen, indem der Steigbügel abwechselnd in das ovale Fenster ein-

bringt. Die den Schwingungen des Trommelfells entsprechenden Wellen des Labyrinthwassers verbreiten sich aber vom ovalen Fenster aus durch den Vorhof und die Bogengänge, auch durch die Vorhoftreppe bis zur Spitze der Schnecke und durch die untere Treppe zurück, so daß sie die im Labyrinth verbreiteten Nervenfasern überall erregen und dadurch die Vorstellung des Schalles veranlassen können. Die oben erwähnten Kalkkrystalle sollen aber die Einwirkung der Schallwellen auf die Nervenfasern (durch Resonanz) verstärken.

Doch kann auch der Schall, namentlich wenn das Trommelfell und die Gehörknöchelchen verletzt sind, in schwächerem Grade durch die Luft in der Trommelhöhle zum runden Fenster und von da ins Labyrinth fortgepflanzt werden. Und dies ist auch der Fall bei der Schallleitung durch die Kopfknochen, was besonders bei verstopften Ohren auffällig wird. So hört man den Ton einer angeschlagenen Stimmgabel, wenn man diese auf den Kopf oder an die oberen Schneidezähne setzt. Ein bekannter hierher gehöriger Versuch ist folgender.

Wenn man einen silbernen Löffel an einem Bande (oder einer Schnur) aufhängt und durch Anschlagen an einen festen Gegenstand zum Tönen bringt, so hört man den so hervorgebrachten Ton bei verstopften Ohren nur schwach oder gar nicht; dagegen wird derselbe stark (glockenartig) vernommen, falls man das Band, an welchem der Löffel hängt, mit den Zähnen festhält, oder wenn man die beiden Abtheilungen des Bandes, in dessen Mitte etwa der Löffel befestigt ist, mit den Fingern beider Hände in die Ohren führt und diese verstopft, wo dann der Schall von dem Löffel aus durch das Band nach dem Kopfe geleitet wird. Doch findet in dem letzteren Falle auch eine Leitung durch die Gehörknöchelchen statt. Daß man die durch die Kopfknochen geleiteten Schallwellen bei verstopften Ohren stärker als bei offenen wahrnimmt, sucht man zum Theil daraus abzuleiten, daß die Luft der Trommelhöhle und des verschlossenen Gehörganges durch Resonanz selbsttönend werde. Dazu kommt, daß hier die Schallwellen eines festen Körpers, ohne Vermittelung der Luft, unmittelbar durch das Band zum Gehörorgane geleitet werden. Die weichen Theile des Kopfes nehmen die Schallwellen natürlich weniger leicht auf als die festen, und diese um so besser, je dünner sie bedeckt sind. So wird auch der Schlag einer Taschenuhr sehr deutlich vernommen, wenn man sie an die oberen Schneidezähne anlegt, von denen die Leitung blos durch harte Theile fortgeht. Verstopft man den äußeren Gehörgang durch einen Papierpfropf und bringt zwischen den letzteren und die Uhr einen Stab, so hört man auch in diesem Falle den Schlag der Uhr besonders deutlich. Hier kommen die Schallwellen unmittelbar durch eine Kette von festen Wänden und gelangen zunächst von den Wänden des Gehörganges auf das Trommelfell und die Gehörknöchelchen. Eben so ist es bei der Aufnahme der Schallwellen, die sich durch den Erdboden fortpflanzen, indem man das Ohr auf die Erde legt. Ist das Ohr dabei verstopft und berührt der Stopfen die Erde, so ist die Leitung nach dem Gehörorgane noch viel stärker.

Es ist bekannt, daß Luftschwingungen nicht leicht und mit einer merklichen Verminderung ihrer Intensität auf feste Körper übergehen. Leichter wird aber eine gespannte Membran durch diese Schwingungen in Bewegung gesetzt. J. Müller *) faßt nun das Trommelfell gewissermaßen als Vermittler zwischen Luft und

*) Handbuch der Physiologie des Menschen. Coblenz 1840. Bd. II. S. 426.

Gehörknöchelchen auf. Um die intensivere Schallleitung durch die Gehörknöchelchen vermittelst des die Luftschwingungen aufnehmenden Trommelfells (membrana tympani) zu veranschaulichen, stellte er folgenden Versuch an. Auf das Ende einer fußlangen Pfeife wurde eine trockne, dünne Membran (Schweinsblase) gespannt und auf die Mitte der letzteren ein kleines Korkstückchen geleimt; an dieses befestigte man ein dünnes Holzstäbchen, an dessen anderes Ende wieder eine Korkscheibe angesteckt wurde. Dieses Ende des Stäbchens wurde in Wasser getaucht, und dann der tiefste Ton oder einer der mittleren Töne der Pfeife angeblasen. Wenn man nun eine (etwa $1/_2$ Zoll weite) Glasröhre bei verstopften Ohren mit dem einen Ende ans Ohr, mit dem anderen ins Wasser hielt, so wurde der Ton in einer auf die Korkplatte senkrechten Richtung (nämlich in der Richtung der Schwingungen) im Wasser außerordentlich stark, viel schwächer aber an den anderen Stellen des Wassers empfunden. War die Membran durch einen fest eingesetzten Korkstopfen ersetzt, so hörte man im Wasser keine oder eine sehr geringe Verstärkung des Tones in der Richtung des Stabes.

Man kann es nun als gewiß annehmen, daß die Schallwellen der Luft stärker vom Trommelfell durch die Gehörknöchelchen und das ovale Fenster, als durch die Luft der Trommelhöhle und die Membran des runden Fensters, auf das Labyrinthwasser wirken.

Durch die an den Hammer befestigten Muskeln kann das Trommelfell mehr oder weniger gespannt werden; durch den sogenannten Spanner (musculus tensor tympani) wird es angespannt, durch den sogenannten Erschlaffer erschlafft. Savart *) schloß aus einigen von ihm angestellten Versuchen mit einer mehr oder weniger gespannten Membran, daß der Schall bei stärker gespanntem Trommelfell weniger stark fortgepflanzt und demgemäß das Hören durch stärkere Spannung des Trommelfells gedämpft werde. Nun weiß man aber, daß manche Körper, wie Saiten und Membranen, erst durch Spannung denjenigen Grad von Elasticität gewinnen, bei welchem sie in Schallschwingungen gerathen können. J. Müller **), der die Frage, ob die Stärke der Mittheilung des Schalles von der Luft an das Trommelfell mit der Spannung des letzteren zu- oder abnimmt, ebenfalls schärfer ins Auge faßte, unterscheidet hierbei zunächst zwischen Mitklingen, Resonanz und Stärke der Schallleitung. Zum Mitklingen ist ohne Zweifel eine gespannte Membran geschickter als eine schlaffe; und wenn ein Körper in seinem eigenen Grundton mitklingen soll, so muß er so gestimmt sein, daß sein Grundton entweder unison mit dem ursprünglichen, oder wenigstens zu diesem in einem einfachen Verhältniß steht. Auch zur Resonanz ist eine schlaffe Membran nicht oder doch jedenfalls weniger geeignet als eine gespannte. J. Müller fand aber, daß eine kleine, stark gespannte Membran den Schall schwächer leitet, als im schlaffen Zustande oder im Zustande geringerer Spannung. Derselbe experimentirte mit einer hölzernen Röhre (8 Linien im Durchmesser und 4 Zoll Länge), die an dem einen Ende in einen schmäleren Hals auslief, der tief und fest in den äußeren Gehörgang eingesetzt werden konnte. Das andere weitere Ende war mit einer Membran schlaff überzogen, die aber mehr oder weniger stark angespannt werden konnte. Die Schallleitung war viel stärker bei schlaffer Membran, als wenn die Membran

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXVI. p. 25. 33 ff.
**) Physiologie. Bd. II. S. 434 ff.

gespannt wurde. Als tönender Körper diente eine Taschenuhr; allein auch jedes andere Geräusch wurde stärker bei schlaffer Membran gehört, und die Dämpfung nahm im geraden Verhältniß mit der Spannung der Membran zu.

Durch die Eustachische Röhre kann man in die Trommelhöhle eine größere Quantität Luft bringen, oder einen Theil der im gewöhnlichen Zustande darin befindlichen daraus entfernen, so daß die Elasticität der Luft in dieser Höhle größer oder geringer ist als die der äußeren Luft; und demgemäß erhält auch das Trommelfell in beiden Fällen eine stärkere Spannung, indem es in jenem Falle von innen nach außen, im letzteren aber von außen nach innen gedrückt wird. Diese Spannungen des Trommelfells kann man herstellen, einmal dadurch, daß man, nachdem man Mund und Nase verschlossen hat, stark und anhaltend auszuathmen sucht, oder daß man unter sonst gleichen Umständen einzuathmen sucht und dadurch die Brust ausdehnt. In beiden Fällen tritt eine gewisse Schwerhörigkeit ein, die in Bezug auf den zweiten Fall zuerst von Wollaston*) bemerkt wurde. Derselbe beobachtete auch, daß, wenn er die Spannung des Trommelfells durch Verdünnung der Luft in der Trommelhöhle verstärkte, nur Schwerhörigkeit für die tiefen Töne stattfand. Und dasselbe findet nach J. Müller**) auch bei der Spannung des Trommelfells durch Luftverdichtung statt.

Da nun durch die Thätigkeit des am Hammer befestigten Spannmuskels, des musculus tensor tympani, eine Spannung des Trommelfells bewirkt werden kann, so ist man der Meinung, daß bei sehr starkem Schall durch Reflexbewegung dieses Muskels eine Dämpfung des Gehörs eintrete, in ähnlicher Weise, wie die Iris bei zu starker Lichteinwirkung zu einer Verengerung veranlaßt werde, indem sich der Reiz vom Sinnesnerven zum Gehirn und von diesem auf den betreffenden motorischen Nerven fortpflanzt. Auch scheint gleichzeitig mit der stärkeren Spannung des Trommelfells eine entsprechende Anspannung der Membran des ovalen Fensters verbunden zu sein. Es ist auch möglich, daß die mehr oder weniger starke Spannung dieser beiden Membranen in Verbindung mit der Stellung der Gehörknöchelchen zu einander für die Erkennung der Eigenthümlichkeit verschiedener Töne nicht ohne Bedeutung ist.

Manche Menschen können willkürlich ein gewisses Geräusch im Ohr erregen, ein Geräusch, das in einem Knacken, ähnlich dem Knistern des elektrischen Funkens, besteht, und von dem man annimmt, daß es durch eine willkürliche Bewegung des musculus tensor tympani und seine Wirkung auf das Trommelfell und die Gehörknöchelchen hervorgebracht werde. Auch der Verfasser dieses Artikels vermag dieses Geräusch willkürlich hervorzurufen, so daß man es deutlich hören kann, wenn man das Ohr nahe an das seinige hält. In Folge von Schlingbewegungen wird das Knacken von Vielen gehört, es läßt sich aber unabhängig von solchen Bewegungen willkürlich und zwar lange anhaltend hervorbringen. J. Müller kann außer diesem Knacken willkürlich noch einen zweiten Ton im Gehörorgane hervorbringen; er ist brummend und kann über eine Secunde und mehr angehalten werden. Beiläufig erwähnen wir hier noch eines von Müller hervorgehobenen Resonanzphänomens des Ohres, das jeder leicht beobachten kann.

*) Phil. Trans. 1820.
**) Physiologie des Menschen. Bd. II. S. 437.

Wenn man nämlich irgend einen Ton bei zugehaltenem Munde summend singt und mit den lose eingesteckten Fingern die beiden Ohröffnungen (oder auch nur eine) deckt, ohne fest anzudrücken, so hört man denselben stärker als sonst, aber mit einer eigenen dumpfen Resonanz in den Ohren.

Da die Luft in der Trommelhöhle mit der äußeren Luft durch die Eustachische Röhre communicirt, so erhält diese Röhre bei dem wechselnden äußeren Luftdrucke (und Wärmegrade) die Luft der Trommelhöhle mit der äußeren atmosphärischen im Gleichgewichte, wodurch eine (einseitige) immer wechselnde Spannung des Trommelfells verhütet wird. Auch leitet die Eustachische Röhre die in der Trommelhöhle abgesonderten Flüssigkeiten nach außen; und man glaubt wohl auch, daß sie eine Modification des Klanges veranlassen könne. Daß sie den Schall zum innern Ohr leite, ist eine falsche und widerlegte Behauptung. Ist die Eustachische Röhre verstopft, so entsteht Ohrensausen und Schwerhörigkeit, und mitunter auch gänzliche Taubheit.

Wir haben bereits erwähnt, daß durch den äußeren Gehörgang die Schallwellen aufgenommen und weiter zu den inneren Theilen des Organs geleitet werden. Der Gehörgang nimmt nun die Schallwellen der Luft theils direct auf, namentlich wenn sie in der Richtung seiner Axe einfallen, theils durch Reflexion von Seiten der Ohrenmuschel, theils auch durch Beugung. Da aber das äußere Ohr (Ohrknorpel) elastisch ist, so kann es auch durch die Schallwellen in Schwingungen versetzt werden, welche sich dann durch die elastischen, knorpeligen und knöchernen Wandungen des Gehörganges dem Trommelfell mittheilen können. Die Schwingungen einer elastischen Platte sind um so bedeutender, je mehr die Schallwellen in senkrechter Richtung auf dieselbe einwirken, woraus man den Nutzen der vielen Erhabenheiten und Vertiefungen des äußeren Ohres ableitet, nämlich in der Weise, daß der Schall, von welcher Seite er auch herkomme, doch immer irgend einen Theil des Ohrs in senkrechter Richtung treffe. Es ist auch schon bemerkt, daß die wenigsten Menschen (unter den civilisirten Völkern) die Muskeln des Ohrknorpels zu bewegen wissen. Am öftersten soll dies noch mit dem sogenannten Heber, den Vorwärts- und Rückwärtsziehern der Fall sein. Alle Menschen sind aber geneigt, wenn sie etwas genau hören wollen, die Gesichtsmuskeln überhaupt und hiermit die Haut anzuspannen, daher die eigene Miene des Horchens, wodurch denn auch die Ohrknorpel eine größere Spannung erhalten sollen.

Die Härchen im Gehörgange tragen wohl zur Abhaltung von Staub und anderen äußeren Schädlichkeiten bei und das sogenannte Ohrenschmalz erhält, wie man glaubt, den häutigen Ueberzug schlüpfrig, vielleicht auch elastisch, und schützt gleichfalls vor äußeren Einwirkungen. Kleine hineinkommende fremde Körperchen bleiben an ihm haften, und es entfernt vielleicht auch kleine Thierchen durch seine Bitterkeit.

Nach Buchanan *) soll es sogar, was Andere auch schon vor ihm behauptet haben, die Schallwellen modificiren, in der Art, daß sie einen weichen, von aller Schärfe freien Ton geben. Die Verminderung oder der Mangel des Ohrenschmalzes im Gehörgange soll Hitze, schmerzhaftes Zucken, unangenehme Geräusche

*) Physiological Illustrations of the Organ of hearing etc. London 1828.

und später Schwerhörigkeit verursachen. Dagegen ist aber auch bekannt, daß Schwerhörigkeit zuweilen Folge der Verstopfung des Gehörganges durch verdichtetes Ohrenschmalz ist, ein Uebel, das durch bloßes Reinigen des Ohres gehoben werden kann. —

Die Schärfe und Feinheit des Gehörs ist unter den Menschen sehr verschieden. Mehrere Ursachen der Schwerhörigkeit haben wir schon angeführt. Manche sind unempfindlich gegen tiefe, dumpfe Töne, während sie wohl hohe Töne noch gut hören, was nach dem bereits Mitgetheilten in einer abnormen Spannung des Trommelfells begründet sein kann. Andere vermögen nicht bei sonst gutem Gehör gewisse hohe Töne wahrzunehmen *). Häufiger kommt es vor, daß die Höhe und Tiefe der Töne nicht fein unterschieden wird. Selten ist die unter dem Namen Paracusis Willisiana bekannte Anomalie **), die darin besteht, daß manche Schwerhörige schwächere Töne nur bei einem gleichzeitig starken Geräusch (von Trommeln, Glocken rc.) hören können. Die Ursache dieser Erscheinung liegt, wie man vermuthet, in einer verminderten Reizbarkeit des Gehörnerven, welcher zur Schärfung seiner Thätigkeit stärker erregt werden muß, oder, wie Muncke glaubt, in der verminderten Reizbarkeit der Nerven, welche die Anspannung des Hammers bewirken, um die Gehörknöchelchen in die zur Wahrnehmung des Schalles erforderliche Lage zu bringen. Ist letzteres dann einmal durch einen stärkeren Reiz geschehen, so werden alle Töne mit größerer Leichtigkeit wahrgenommen ***). Zuweilen mag auch der Umstand, daß ein Schwerhöriger bei großem Lärm manche Töne so gut wie Andere hört, nach Müller davon herrühren, daß derselbe von dem Geräusch wenig, Guthörende aber viel davon gestört werden. In seltenen Fällen kommt auch ein Doppelthören vor in Folge einer ungleichen Wirkung beider Ohren. Eine andere Art des Doppelthörens findet statt, wenn derselbe Ton durch zwei verschiedene Medien zum Ohr fortgeleitet wird, z. B. wenn man den Ton eines im Wasser schallenden Glöckchens bei verstopften Ohren durch die Luft hört und zugleich mittelst eines festen Schallleiters, der an's Ohr und in's Wasser gehalten wird, aus dem Wasser hört ****).

Wenn das Trommelfell durchlöchert und die Kette der Gehörknöchelchen unterbrochen ist, so kann der Schall zwar noch, wie wir wissen, durch die Luft der Trommelhöhle und durch das runde Fenster zum Labyrinth fortgeleitet werden; ist aber die Haut des runden Fensters verletzt, und auch der Steigbügel vom ovalen Fenster losgerissen, so hat dies völlige Taubheit zur Folge. Im letzteren Falle fließt das Labyrinthwasser aus und der Nervenapparat vertrocknet.

Zur Beurtheilung des Grades der Schwerhörigkeit schlug Itard ein Instrument unter dem Namen Akumeter (s. d. Art.) vor. — Alle Fasern des Gehörnerven empfangen, wie es scheint, nahe gleichzeitig denselben Wellen-Impuls, so daß die Gesammtempfindung aus den elementaren Empfindungen aller

---

*) Wollaston, Phil. Trans. 1820. p. 306. Edinb. Phil. Journ. Bd. VII. S. 158.

**) Willis, de anima brutorum. Lugd. 1676. p. 99. Holder, Phil. Trans. 1668. T. II. p. 665. Gehler's phys. Wörterb. N. A. Bd. IV. S. 1220. Müller, Physiol. des Menschen, Bd. II. S. 481.

***) Trampel: Wie erhält man sein Ohr gut, und was fängt man damit an, wenn es fehlerhaft geworden ist? 2te Aufl. mit Anmerk. von Menke, Hannover 1822. S. 111.

****) Müller a. a. O. S. 480.

einzelnen Fasern resultirt. Gleichzeitige Reize vermischen sich in jeder Faser, und die Gehörempfindungen beider Ohren fallen in der Regel zu einem Gesammteindruck zusammen. Mehrere gleichzeitige Töne verschmelzen also hiernach zu einem Gesammteindruck, zu einem Ganzen, das erst allmälig, in verschiedenen Graden der Feinheit, auf einzelne Bestandtheile bezogen wird *). Und hierbei ist ohne Zweifel das Bewußtsein, daß die Gesammtempfindung aus den Empfindungen mehrerer gleichzeitiger schon bekannter Töne resultirt, von Bedeutung. So lernen wir verschiedenartige Gesammtempfindungen, die nacheinander ohne Weiteres von einander unterschieden werden, auch mit Rücksicht auf ihre einzelnen Bestandtheile oder in Bezug auf die sie zusammensetzenden Töne von einander unterscheiden. Freilich kann auch ein ungebildetes Ohr unter mehreren gleichzeitig erregten Tönen einen heraushören, nämlich vermöge seiner Stärke oder seines abweichenden Klanges, der bekanntlich verschiedene Töne bei gleicher Höhe von einander unterscheiden läßt. Und dieses Heraushören wird natürlich um so besser von statten gehen, wenn aus irgend einem Grunde die Aufmerksamkeit sich auf einen bestimmten Ton richtet und durch deren Thätigkeit die Aufnahme der übrigen Töne ins Bewußtsein erschwert ist.

Das Gehör hat auch seine Nachempfindung, die unter gewöhnlichen Umständen allerdings nur bei einem sehr starken oder andauernden Schall auffällig wird, aber auch bei schwächeren Tönen gewiß vorhanden ist. Auch muß wohl, soll anders aus einer Reihe von Schwingungen ein Ton resultiren, die Erregung des Gehörnerven etwas länger als der veranlassende Stoß (Impuls) dauern. Dafür spricht auch die Thatsache, daß man aus Savart's Rad (s. d. Art. Wellenbewegung) einen Zahn weglassen kann, ohne daß dies eine Unterbrechung oder Veränderung in der Höhe des Tones zur Folge hätte.

Das Nähere über die Auffassung der musikalischen Tonverhältnisse findet man im Art. Ton.

Die Beziehung des Gehörten auf etwas Aeußeres, die Richtung des Schalles und die Entfernung der Schallquelle liegt nicht ursprünglich und unmittelbar in der Gehörempfindung, sondern es ist dies Alles Sache eines Urtheils oder anderer Erregungen, deren Oertlichkeit uns schon bekannt ist. Und darum eben, weil dies Alles nicht unmittelbar in der Empfindung liegt, ist es mannigfachen Täuschungen unterworfen. In Rücksicht des zuerst angeführten Umstandes ist die durchgängige Association der Gehörwahrnehmungen und Gesichtsvorstellungen von Bedeutung, indem häufig genug die Gehörempfindung sofort nach einem sichtbaren, den Schall veranlassenden Vorgang auftritt und sich mit der Vorstellung des letzteren associirt. Darum vernimmt man auch selten ein Geräusch oder einen Ton, ohne an etwas Sichtbares, als an seine Bedeutung oder als an die ihm zu Grunde liegende Veranlassung zu denken. Und wahrscheinlich ist es, daß der Blinde seine Gehörwahrnehmungen in ähnlicher Weise auf den Tastsinn bezieht **). Die Richtung des Schalles ist theilweise ebenfalls durch die Gesichtswahrnehmung bedingt; dann kommt physikalisch die Stärke der Schallwellen in Betracht, indem man den tönenden Körper dahin setzt, woher die stärksten Schallwellen kommen, was zu vielen

---

*) Vergl. Harleß, Art. Hören in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie Bd. IV. S. 375 und 411.

**) Drobisch, empirische Psychologie S. 127.

Täuschungen Veranlassung giebt. Wichtig zur Bestimmung des Orts tönender Körper ist auch insbesondere die ungleich starke Wirkung auf beide Ohren, oder die stärkere Wirkung des Schalles auf das eine oder andere Ohr, nach welcher die Richtung beurtheilt wird. Dreht man den Kopf, so wirkt der Schall auf das eine Ohr stärker als auf das andere, wodurch sich die Richtung desselben bestimmt. Verstopft man aber das eine Ohr, so scheint der schallende Körper dem offenen Ohr gegenüber zu sein, so lange der Kopf ruht. Befindet sich der schallende Gegenstand auf der rechten Seite eines Menschen, welcher ihn mit beiden Ohren bei verschlossenen Augen hört, und dieser verstopft allmälig das rechte Ohr, so geht der Schall in einem Halbkreise um den Hinterkopf (nie um die Stirn) nach der linken Seite, was Treviranus aus der Lage der Gehörwerkzeuge mehr nach dem Hinterkopfe, als nach der Stirn hin erklärt. Wichtig für die Erkennung der Richtung des Schalles hält man die Erregung der Tastnerven der Ohrmuschel und des Gehörganges. Doch soll man nach Venturi*) bei verbundenen Augen und ohne den Kopf zu bewegen, mit beiden Ohren nicht unterscheiden können, ob der Schall von vorn oder hinten kommt. Nach Kerner's**) Beobachtungen findet aber eine solche Unterscheidung dennoch statt, und zwar nach Treviranus***) in Folge des ungleichen Auffangens der Schallwellen durch das äußere Ohr. Da man dem Ohr durch die Bewegung des Kopfes eine verschiedene Stellung gegen die Schallwellen geben kann, so läßt sich auch die Richtung des Schalles schon vermittelst eines Ohres erkennen.

Da wir in der Regel am deutlichsten hören, wenn das Ohr der Schallquelle gerade zugewendet ist, so hat sich die Gewöhnung gebildet, den Schall in gerader Richtung vom schallenden Gegenstande nach unserem Ohre kommend anzunehmen, so daß also der Ort der Schallquelle durch die rückwärts genommene Verlängerung des Eindrucks bestimmt wird. Es ist nun eine Folge dieser Gewohnheit, daß bei jedem Schall die Oertlichkeit nach dieser Weise als Vorstellung reproducirt wird ****). Daher irren wir bei zurückgeworfenen Schallwellen (Echo), die denselben Eindruck wie die directen machen.

Die Entfernung des Schalles beurtheilt man gewöhnlich nach seiner Stärke. Bei bekannten Tönen, z. B. den Lauten der menschlichen Stimme, hat sich mit einer gewissen Entfernung der schallerregenden Ursache die Vorstellung einer gewissen Stärke des Schalles verbunden, und so auch umgekehrt. Diese Association zwischen Stärke und Entfernung führt dann auch wieder zu Täuschungen, indem z. B. eine gedämpfte Stimme die Vorstellung einer größeren Ferne reproducirt; ein Umstand, der im Verein mit den Täuschungen über die Richtung des Schalles von der Kunst des sog. Bauchredens †) benutzt wird ††).

---

*) Voigt's Magaz. II. St. 1. S. 1; Gehler's phys. Wörterb. Bd. IV. S. 1223.

**) Reil's und Autenrieth's Archiv Bd. IX. S. 361.

***) Biologie Bd. VI. S. 337.

****) Drobisch a. a. O.

†) S. Art. Bauchredner Bd. I. S. 751.

††) Bezügl. der Literatur dies. Art. erwähnen wir noch neben Hinweisung auf die bereits citirt. Schriften und die bekannten Lehrbücher der Physiologie, unter denen wir noch die von Valentin und von Ludwig namentlich anführen, die populär-wissenschaftliche Darstellung der Sinne des Menschen von Dornblüth, Leipzig bei Otto Wigand, 1857.

Zum Schlusse noch die Bemerkung, daß die Säugethiere ein Gehörorgan besitzen, das im Wesentlichen mit dem des Menschen übereinkommt; dasjenige der Vögel zeigt mancherlei Abweichungen *). Den Fischen fehlt die Schnecke der höheren Wirbelthiere und die Trommelhöhle, den nackten Amphibien die Schnecke und das runde Fenster; von den letzteren haben einige eine Trommelhöhle, andere keine. Die beschuppten Amphibien besitzen beide Fenster, und ihre Schnecke zeigt einen ähnlichen Bau wie die der Vögel **). Die einfachste Form des Gehörorgans ***) ist endlich ein mit Flüssigkeit gefülltes Bläschen, auf welchem sich ein Nerv (Gehörnerv) ausbreitet. So findet man es bei den Krebsen und Mollusken (Cephalopoden).

*) Huschke in Müller's Archiv 1833. S. 353. Breschet, Ann. de Sc. nat. 1836. Müller's Archiv 1837. Bd. LXIV. Physiologie des Menschen Bd. II. S. 411. 416. Treviranus, Biologie Bd. VI. S. 342 ff. E. H. Weber, de aure et auditu hominis et animalium. Lips. 1820. Breschet, recherches anatom. et physiol. sur l'organe de l'ouie. Par. 1836.

**) Windischmann, de penitiori auris in amphibiis structura. Bonnae 1831. Müller's Archiv 1836. Bd. LXVII. Tiedemann's Zeitschrift 4. 2.

***) E. H. Weber a. a. O. Tab. 1. 2.

Druckfehler und Berichtigungen zum fünften Bande.

Seite	26	Zeile	4	von	unten	statt	A lies B.
"	183	"	23	"	"	"	5) " B.
"	184	"	6	"	oben	"	6) " C.
"	186	"	22	"	unten	"	B " D.
"	232	"	23	"	oben	"	denn lies dann nach.
"	241	"	8	"	"	"	weiten " weit.
"	242	"	2	"	unten	"	Le Ebros lies Le Gros.
"	260	"	23	"	oben	"	Solivtafeln lies Solintafeln.
"	261	"	21	"	"	"	letzteren lies ersteren.
"	261	"	21	"	"	"	ersteren " letzteren.
"	267	"	6	"	unten	"	albuminirte lies albuminirten.
"	268	"	1	"	oben	"	zu wenig lies zu viel.
"	268	"	1	"	"	"	zu viel lies zu wenig.
"	269	"	11	"	unten	"	konnte " könnte.
"	270	"	9	"	oben	"	des sogenannten lies das sogenannte.
"	341	"	2	"	unten	"	zweiten lies ersten.
"	342	"	23	"	oben	"	zweiten " ersten.
"	680	"	14	"	unten	"	Sauersalze lies Sauerstoffsalze.
"	748	"	21	"	oben	"	im Allgemeinen das Gesetz lies im Allgemeinen.

Druck von Otto Wigand in Leipzig.

